

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of :
Hideyuki IWAMURA et al. :
Serial No. NEW : Attn: APPLICATION BRANCH
Filed February 6, 2004 : Attorney Docket No. 2004-0171A
MANUFACTURING METHOD FOR
OPTICAL FIBER GRATING

CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

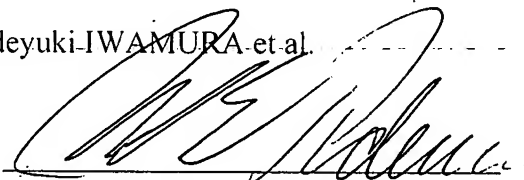
Applicants in the above-entitled application hereby claim the date of priority under the International Convention of Japanese Patent Application No. 031456/2003, filed February 7, 2003, as acknowledged in the Declaration of this application.

A certified copy of said Japanese Patent Application is submitted herewith.

Respectfully submitted,

Hideyuki IWAMURA et al.

By


Nils E. Pedersen
Registration No. 33,145
Attorney for Applicants

NEP/krq
Washington, D.C. 20006-1021
Telephone (202) 721-8200
Facsimile (202) 721-8250
February 6, 2004

THE COMMISSIONER IS AUTHORIZED
TO CHARGE ANY DEFICIENCY IN THE
FEES FOR THIS PAPER TO DEPOSIT
ACCOUNT NO. 23-0975



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 2 月 7 日
Date of Application:

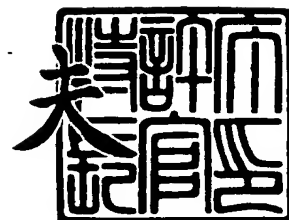
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 3 1 4 5 6
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 3 1 4 5 6]

出 願 人 沖 電 気 工 業 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 2 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 9 7 2 4 4

【書類名】 特許願

【整理番号】 OH003803

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/12

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区虎ノ門 1 丁目 7 番 1 2 号 沖電気工業株式会
社内

 【氏名】 岩村 英志

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区虎ノ門 1 丁目 7 番 1 2 号 沖電気工業株式会
社内

 【氏名】 西木 玲彦

【特許出願人】

 【識別番号】 000000295

 【氏名又は名称】 沖電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100085419

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 大垣 孝

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 012715

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9001068

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバグレーティングの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光ファイバに、該光ファイバの長さ方向に沿って屈折率が周期的に変化している構造のグレーティング部を、該光ファイバの長さ方向に沿って、位相調整部を挟んで、かつ互いに前記屈折率変化の周期を異ならせて、形成するグレーティング形成工程と、

前記グレーティング部と前記位相調整部とが設けられた光ファイバグレーティングの反射率のスペクトルをモニタしながら、該位相調整部の光学長を調整する位相調整工程とを具備している

ことを特徴とする光ファイバグレーティングの製造方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光ファイバグレーティングの製造方法において、

前記光ファイバを、コアと該コアの外周部に設けられたクラッドを具え、該コアと該クラッドの少なくとも一方が第1の光の照射によって屈折率が上昇する素材から形成されている光ファイバとして、

前記グレーティング形成工程は、該光ファイバの長さ方向に沿って前記周期で第1の光を照射することにより、該光ファイバの長さ方向に沿って屈折率を該周期に変化させる工程である

ことを特徴とする光ファイバグレーティングの製造方法。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光ファイバグレーティングの製造方法において、

前記光ファイバを、コアと該コアの外周部に設けられたクラッドを具え、該コアと該クラッドの少なくとも一方が第2の光の照射によって屈折率が上昇する素材から形成されている光ファイバとして、

前記位相調整工程は、前記位相調整部のみに前記第2の光を照射して、屈折率を変化させる工程である

ことを特徴とする光ファイバグレーティングの製造方法。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の光ファイバグレーティングの製造方法にお

いて、

前記位相調整工程は、前記光ファイバのコアに第3の光を入射させ、該光ファイバのグレーティング部から反射された反射光を光強度測定器に入射させ、該光強度測定器で該反射光のスペクトルを観測しつつ、前記反射光のスペクトルの隣接するメインローブ間の極小値が最小となった時点で前記第2の光の照射を終了する工程である

ことを特徴とする、光ファイバグレーティングの製造方法。

【請求項5】 請求項4に記載の光ファイバグレーティングの製造方法において、

前記第3の光を、光サーキュレータを介して前記光ファイバのコアに入射させ、前記反射光を、再び該光サーキュレータを介して光強度測定器に入射させることを特徴とする、光ファイバグレーティングの製造方法。

【請求項6】 請求項1に記載の光ファイバグレーティングの製造方法において、

前記グレーティング部の屈折率の変化量の大きさを、前記グレーティング部の両端に近いほど小さく形成する

ことを特徴とする光ファイバグレーティングの製造方法。

【請求項7】 請求項6に記載の光ファイバグレーティングの製造方法において、

前記光ファイバを、コアと該コアの外周部に設けられたクラッドを具え、かつ該コアと該クラッドの少なくとも一方が第1の光の照射によって屈折率が上昇する素材から形成されている光ファイバとする

ことを特徴とする光ファイバグレーティングの製造方法。

【請求項8】 請求項7に記載の光ファイバグレーティングの製造方法において、

前記グレーティング形成工程は、

前記位相格子と、前記第1の光の透過率が、前記グレーティング部の中央部において最小となり、かつ該グレーティング部の両端で最大となる、余弦関数型の特性を有する透過率分布マスクとを重ねてマスクとして用いて露光する工程、あ

るいは、該位相格子をマスクとして露光した後引き続き該透過率分布マスクをマスクとして露光する工程を含む

ことを特徴とする光ファイバグレーティングの製造方法。

【請求項 9】 請求項 2、7 及び 8 のいずれか 1 項に記載の第 1 の光が、光誘起屈折率変化現象が発生する波長の紫外光であることを特徴とする光ファイバグレーティングの製造方法。

【請求項 10】 請求項 3 及び 4 のいずれか 1 項に記載の第 2 の光が、光誘起屈折率変化現象が発生する波長の紫外光であることを特徴とする光ファイバグレーティングの製造方法。

【請求項 11】 請求項 4 及び 5 のいずれか 1 項に記載の第 3 の光が、光搬送波の波長と等しい波長の光であることを特徴とする光ファイバグレーティングの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、光ファイバグレーティングの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバグレーティングは、光ファイバを構成しているコアとクラッドの少なくとも一方に周期的な屈折率変化構造（以後「ブラッググレーティング」ということもある。）を具えた光ファイバである。この光ファイバは、ブラッググレーティングの屈折率変化構造の周期 Λ に対応した特定の波長 λ （この波長 λ をブラッグ波長ということもある。）の光を選択的に反射する特性を有する。周期 Λ と波長 λ との間には、 $\lambda = 2n\Lambda$ の関係があり、この条件はブラッグ反射条件とよばれる。ここで n は、光ファイバ中を伝播する光の位相速度を決める、実効屈折率である。実効屈折率等詳細については後述する。

【0003】

一般に、上述のブラッググレーティングは、光ファイバの長さ方向に沿った特定の箇所に形成されており、その他の部分は実効屈折率が変調されていない通常

の光ファイバの構造である。この明細書において、光ファイバの長さ方向とは、光の伝播方向に沿った方向のことであり、光ファイバの中心軸に平行な方向を意味するものとする。また、光ファイバグレーティングという場合、光ファイバの全長にわたりブラッググレーティングが形成されている構造の光ファイバはもとより、ブラッググレーティングが形成されていない箇所を一部に含む光ファイバ、すなわち、ブラッググレーティングが形成されている部分と形成されていない部分とを長さ方向に連続して一体的に形成した構造の光ファイバも含む。また、光ファイバグレーティングにおいて、ブラッググレーティングが形成されている箇所のことを、以後単にグレーティング部ということもある。

【0004】

屈折率変化構造は、光誘起屈折率変化現象を用いて形成できる。光誘起屈折率変化現象とは、例えば、ゲルマニウムが添加された石英ガラスに240 nm 程度の波長の紫外光を照射すると屈折率が増加するという現象である。

【0005】

光ファイバグレーティングを製造するには、例えば、次のように行なう。コアあるいはクラッドの少なくとも一方を、ゲルマニウム添加石英ガラスを用いて形成された光ファイバを使用する。この光ファイバの側面（光の伝播方向に沿った側面）に光ファイバの長さ方向に沿って紫外光を所定の周期で照射すると、露光された部分の光ファイバの実効屈折率が増大し、光ファイバの中を伝播する光の伝播方向に沿って、実効屈折率の周期構造が形成される。

【0006】

実効屈折率とは、等価屈折率とも言われ、光ファイバ等の光導波路を伝播する光電場の伝播形状（導波モードという。）に対応して確定し、この光導波路をこの導波モードで伝播する光の位相速度を決める屈折率に相当する物理量である。光が導波路中を伝播する場合、伝播する光電場はクラッド部分にも一部侵入して存在する。このため、伝播する光が感受する屈折率はコア部分の屈折率とクラッド部分の屈折率との間の値をとる。すなわち、実効屈折率は、コアの屈折率より大きく、かつクラッドの屈折率より小さい値をとる。

【0007】

したがって、光導波路のクラッドに屈折率の変調が加えられていれば、この光導波路を伝播する光に対する実効屈折率も同じく変調が形成されていることになる。すなわち、光ファイバにブラッググレーティングを形成するには光ファイバを構成するコアあるいはクラッドの少なくとも一方を、光誘起屈折率変化現象を起こす素材、例えばゲルマニウム添加石英ガラスを用いて製造することが必要である。また、少なくともコアあるいはクラッドのいずれか一方に屈折率変調構造を形成することが必要となる。

【0008】

具体的に光ファイバの長さ方向に沿って紫外光を所定の周期で照射する方法として、二光束干渉法や位相マスク法等の方法が知られている。また、以後実効屈折率を誤解が生じない範囲で単に屈折率ということもある。

【0009】

上述した方法によって光ファイバに形成された屈折率の周期構造が、光ファイバを伝播する光に対して、ブラッググレーティングとして機能する。

【0010】

光ファイバグレーティングは、光通信装置等の分野において、通信線路との接続性がよく、ブラッグ反射波の中心波長、反射率等の光学特性を容易に調整して形成することができることから、応用範囲が広い。

【0011】

通信線路との接続性がよいとは、通信線路と光ファイバ等の素子を接続するために、煩雑な位置調整をする必要がなく、またレンズ等多くの部品を用いる必要がないことをいう。光通信において、光ファイバが通信線路として用いられる。光ファイバグレーティングは、基本的に通信線路に用いられる光ファイバと同一の幾何的形狀を持つ。したがって通信線路に用いられる光ファイバと、光ファイバグレーティングとは、光ファイバコネクタ等の既成の部品を用いれば、煩瑣な調整作業を必要としないで接続することができる。

【0012】

光ファイバグレーティングの応用例として、次のような例がある。まず、第1の例として、波長多重光通信（WDM: Wavelength division multiplexing）にお

いて用いる、多波長光源の部品としての利用である（例えば特許文献1参照）。特許文献1に開示されている発明は、WDMで用いられる光（光搬送波）を全て含む広いスペクトル幅をもつ光源と、この光源から出力される光をWDMの各チャンネルに割り当てられる狭いスペクトル幅をもつ光を、選択的に取り出すフィルタ手段とから構成されている。このフィルタ手段に光ファイバグレーティングが使われている。

【0013】

また、第2の例として、時間拡散波長ホップ方式の光符号多重通信（OCDM: Optical Code Division Multiplexing）の符号器及び復号器への利用である（例えば特許文献2参照）。特許文献2に開示されている発明では、時間拡散波長ホッピング符号化および復号化の手段として、光ファイバグレーティングが使われている。

【0014】

上述した特許文献に開示されている光ファイバグレーティングは、ブラッグ波長の異なる少なくとも二種類以上のブラッググレーティングを、光ファイバの長さ方向に直列に配置させて、一定の間隔を隔てて形成されたものである。この構造の光ファイバグレーティングは、形成されている全てのブラッググレーティングの周期に対応した特定の波長の光（形成されているブラッググレーティングの個数と同数の波長の異なる光）を選択的に反射する特性を有する。

【0015】

【特許文献1】

特開 2000-19335 号公報

【特許文献2】

特開 2000-209186 号公報

【0016】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、WDMやOCDMにおいて、波長多重度を大きくする（チャンネル数を増やすことをいう。）ためには、チャンネル間の光搬送波の波長差（隣接するチャンネルの光搬送波の中心波長の間隔をいう。）を、小さくする必要がある。

光搬送波とは、WDMやOCDM等の光通信において、信号を乗せて運ぶために変調される光（光波ということもある。）をいう。光通信における通信線路（光ファイバを用いて構成される。）を伝播させることができる光搬送波の波長の領域は限られている。そのため、多重化するチャンネル数を増やせばそれだけチャンネル間の光搬送波の波長差を小さくする必要がある。すなわち、チャンネル毎に分配される個々の光搬送波の波長スペクトル（以後「メインローブ」ということもある。）の中心波長の間隔が小さくなれば、隣接するメインローブが重なり合う領域が相対的に増大してくる。以後光搬送波の波長スペクトルのことを、単に光搬送波のスペクトルということもある。

【0017】

メインローブが重なり合う領域とは、隣接する光搬送波の中心波長間の波長領域である。以後この波長領域であって、光強度が極小となる波長を、メインローブ間のボトム波長、あるいは単にボトム波長といい、光搬送波の波長スペクトルの極小となる位置を単にボトムということもある。またメインローブの光強度が極大となる波長をメインローブのピーク波長あるいは単にピーク波長といい、光搬送波の波長スペクトルの極大となる位置を単にピークということもある。

【0018】

隣接するメインローブが重なり合う領域が相対的に増大すると、ボトム波長における光強度が相対的に増大してくる。すなわち、必然的にボトム波長における光強度がピーク波長における光強度と近づくので、個々のメインローブを識別することが次第に困難となってくる。個々のメインローブを識別することが困難となれば、上述した特許文献1あるいは特許文献2に開示されている発明等を実施することができない。

【0019】

すなわち、光ファイバグレーティングを、光搬送波に対する光分波器あるいは光合波器として利用する場合、分波あるいは合波される光は、チャンネル毎に分配されて光搬送波としての役割を与えられるので、この光ファイバグレーティングの反射光あるいは透過光のスペクトルのメインローブが識別できる必要がある。

。

【0020】

この発明の目的は、上記問題点を解決するために、反射あるいは透過スペクトルにおけるボトム波長の光強度を、反射光あるいは透過光のスペクトルのメインローブが識別できる程度に小さくすることができる、光ファイバグレーティングの製造方法を提供することにある。

【0021】**【課題を解決するための手段】**

この出願に係る発明者が検討したところ、次の結論を得た。すなわち、ブラッグ波長の異なる少なくとも二種類以上のブラッググレーティングを、光ファイバの長さ方向に直列させて、一定の間隔（以後この部分を「位相調整部」という。）を隔てて設けてある光ファイバグレーティングを製造するに当り、位相調整部の長さあるいは実効屈折率を調整することで、上記課題を解決することができる。

【0022】

例えば、ブラッグ波長が λ_1 及び λ_2 の二種類のブラッググレーティングが形成されている光ファイバグレーティングの反射スペクトルを考える。これら二種類のブラッググレーティングの個々の反射スペクトルのメインローブが関与するボトム波長は、近似的に $(\lambda_1 + \lambda_2) / 2$ である。この光ファイバグレーティングの反射スペクトルのボトム波長における光強度は、位相調整部の長さあるいは実効屈折率の値を調整することで、調整できる。したがって、ボトム波長の光強度を十分に小さくなるように、光ファイバグレーティングを製造することができる。

【0023】

また、ブラッグ波長が λ_i ($i=1, 2, 3, \dots, N$ (ただし、 N は自然数)) の複数のグレーティング部を有する光ファイバグレーティングを製造する場合にも、同様に隣接して形成されるグレーティング部の間の位相調整部の長さあるいは実効屈折率を調整することで、同様の目的が達成できる。

【0024】

そこで、この発明の光ファイバグレーティングの製造方法は、上述した検討結果に基づいて開発されたものであり、以下に記述するグレーティング形成工程と

位相調整工程とを含むことを特徴とする。

【0025】

グレーティング形成工程は、光ファイバに、この光ファイバの長さ方向に沿って屈折率が周期に変化している構造のグレーティング部を、この光ファイバの長さ方向に沿って、位相調整部を挟んで、かつ互いに前記屈折率変化の周期を異ならせて形成する工程である。また、位相調整工程は、グレーティング部と位相調整部とが設けられた光ファイバグレーティングの、反射率のスペクトルをモニタしながら、この位相調整部の光学長を調整する工程である。

【0026】

すなわち、コアとこのコアの外周部に設けられたクラッドを具え、コアとクラッドの少なくとも一方が第1の光の照射によって屈折率が上昇する素材から形成されている光ファイバを用いる。この光ファイバの長さ方向に沿って所定の周期で第1の光を照射しグレーティング部を形成する（グレーティング形成工程）。

【0027】

このグレーティング部は、この光ファイバの長さ方向に、一定の間隔を隔てて、複数箇所に直列させて形成する。ただし、これらのグレーティング部の屈折率変調周期は異なっている。すなわち、これらグレーティング部のブラッグ波長は異なっている。

【0028】

次に、グレーティング部と位相調整部とが形成された光ファイバグレーティングの反射率のスペクトルをモニタしながら、位相調整部のみに第2の光を照射して、光ファイバグレーティングの光学特性を調整する（位相調整工程）。

【0029】

すなわち、位相調整工程は、光ファイバのコアに第3の光を入射させ、光ファイバのグレーティング部から反射された反射光を光強度測定器に入射させ、この反射光のスペクトルを観測しつつ、反射光のスペクトルの隣接するメインローブ間の極小値が最小となった時点で第2の光の照射を終了する工程である。もちろん、光ファイバグレーティングの反射率のスペクトルの代わりに、透過率のスペクトルを観測することによっても、同じ目的が達成できる。位相調整工程におい

て、反射のスペクトルを観測することによるか、透過のスペクトルを観測することによるかは、光ファイバグレーティングが組み込まれる装置の都合等で決めるべきことであり、単なる工程の設計事項にすぎない。

【0030】

ここで、第3の光とは、一般に光ファイバグレーティングが組み込まれた装置が、その使用を想定している波長の光である。すなわち、光通信装置に組み込まれた場合には、光搬送波である。また、上述した第1の光および第2の光としては、現在のところ、波長248 nmのパルスエキシマレーザ（紫外光）の露光によって、グレーティング部を形成する方法が知られている。以後、第1の光および第2の光としては、光誘起屈折率変化現象を引き起こす、波長240 nm近傍の波長を持つ紫外光を指すものとして説明する。

【0031】

将来、上記紫外光以外の光で光誘起屈折率変化現象を引き起こす光ファイバが開発された場合には、その光を用いて、この発明を実施することもできる。また光照射以外の、例えば、イオンビーム照射方法でも、屈折率変化現象が確認され、その手法の工業的有効性が確認されれば、イオンビーム照射方法を、この発明の実施に利用できることは、明らかである。

【0032】

この発明の製造方法によれば、グレーティング形成工程において、ブラッグ波長の異なるグレーティング部が、光ファイバの長さ方向に直列して複数箇所設けられるので、グレーティング形成工程終了直後の段階でこの光ファイバグレーティングの反射スペクトルを観測すれば、設けられたこれらのグレーティング部からの反射スペクトルの和に等しい反射スペクトルが得られる。すなわち、この光ファイバグレーティングの反射スペクトルは、設けられたグレーティング部のブラッグ波長を中心波長に持つメインローブが重ね合わされたものとなる。したがって、メインローブの数は、設けられたグレーティング部の数と等しく、隣接するメインローブの中心波長の間の波長において、反射スペクトルのボトムとなる。

【0033】

次に、位相調整工程において、このボトムにおける光強度を観測しながら、位相調整部のみに紫外光を時間的に連続して照射すれば、ボトムにおける光強度が最小になる時点を判定できる。ボトムにおける光強度が最小になった時点で、紫外光の照射を終了すれば、所望の光学特性を有する光ファイバグレーティングを製造できる。

【0034】

また、この発明の製造方法は、グレーティング部を形成する工程において、光ファイバグレーティングの長さ方向に沿った屈折率の変動量の大きさ（以後「屈折率変調度」という。）が、グレーティング部の両端に近いほど小さく形成（以後「アポダイズ」ということもある。）してもよい。屈折率変調度をアポダイズすると、後述するように、メインローブの両側に小さく現れる反射スペクトル成分（以後「サイドローブ」ということもある。）を抑圧することができる。このようなアポダイズされたグレーティング部を有する光ファイバグレーティングに対しても、上述した位相調整工程において、光ファイバグレーティングの光学特性である反射あるいは透過スペクトルにおける、ボトム波長の光強度を十分に小さくすることができる。

【0035】

【発明の実施の形態】

以下、図1～図23を参照して、この発明の実施の形態例につき説明する。なお、これらの図は、この発明が理解できる程度に、構成要素の形状、大きさおよび配置関係を概略的に示してあるにすぎず、また、以下に説明する数値的およびその他の条件は単なる好適例であり、この発明はこの発明の実施の形態にのみ何等等限定されるものではない。また、各図において同様の構成成分に対しては同一の番号を付し、その重複する説明を省略することがある。

【0036】

図1を参照して、特にグレーティング部が複数箇所（図1では二箇所）に構成されており、光通信における光搬送波に対する光分波機能素子あるいは光合波機能素子として利用される、光ファイバグレーティングの構造を説明する。説明を簡便にするために、以下において、光ファイバのコアに光誘起屈折率変化現象を

起こす素材の一例として、例えばゲルマニウム添加石英ガラスを用いて、コアに周期的屈折率変調を施して、形成される光ファイバグレーティングを対象に限定して説明する。もちろん、以下での議論において、グレーティング部を形成する方法としては、ここで説明するコアに屈折率の周期的変調を加えるほか、クラッドあるいはコア及びクラッドの両方に屈折率の周期的変調を加えて構成することも可能である。

【0037】

また、光誘起屈折率変化現象を起こす素材を用いて形成された光ファイバ以外でも、例えば、光誘起屈折率変化現象が起こらない通常の光ファイバに対して、イオン注入誘起屈折率変化現象を利用して、光ファイバグレーティングを作成することもできる。いずれにしても、この発明の位相調整部の光学長を調整して、光ファイバグレーティングの光学特性を調整するという技術的思想は、活用することができる。

【0038】

図1に示す光ファイバグレーティング12は、コア10とクラッド11を具え、かつブラッグ波長が λ_1 である第1グレーティング部14とブラッグ波長が λ_2 である第2グレーティング部16とを具えている。ブラッグ波長とグレーティング部の屈折率周期との関係は以下の通りである。

【0039】

第1グレーティング部14を例にとって説明する。コア10において屈折率の高い部分10aの長さが l_1 であり、屈折率の低い部分10bの長さが l_2 であるとする。図1において、屈折率の高い部分10aは、斜線が施された部分である。また、図1において、屈折率の低い部分10bは、斜線が施されていない部分である。そして、屈折率の高い部分10aの実効屈折率が n_1 、屈折率の低い部分10bの実効屈折率が n_2 であるとする。この場合、ブラッグ条件、すなわち、反射される光の波長を与える条件は、

$$\lambda_1/2 = n_1 l_1 + n_2 l_2 \quad (1)$$

である。ここで、 λ_1 は、第1グレーティング部14の反射スペクトルのピーク波長(ブラッグ波長)である。

【0040】

また、 n_1-n_2 の値は、ゲルマニウム添加石英ガラスをコアとした光ファイバの場合、たかだか 5×10^{-3} 程度であるから、 $n_1=n_2=n$ と近似できるので、(1) 式は、次式 (2) で近似できる。

【0041】

$$\lambda_1 = 2(n_1 l_1 + n_2 l_2) \doteq 2n(l_1 + l_2) = 2n\Lambda_1 \quad (2)$$

ここで、 Λ_1 は、ブラッググレーティングの屈折率変化の周期である。

【0042】

そこで、以後ブラッグ条件は、(2) 式で与えられるものとする。近似的な実効屈折率 n は、ほぼ $n = (n_1 + n_2) / 2$ 程度であると考えても良い。

【0043】

したがって、図1に示す構造の光ファイバグレーティングの反射スペクトルは、波長 λ_1 と波長 λ_2 とにピークを持つことになる。ただし、 $\lambda_1 = 2n\Lambda_1$ 及び $\lambda_2 = 2n\Lambda_2$ である。図1において、屈折率の高い部分と低い部分との境界で屈折率が急峻に変化している場合を示しているが、屈折率変化がなだらかで、例えば正弦関数状に変調されていても上述の内容は変わらない。すなわち、ブラッググレーティングの周期 Λ_i と、ブラッグ波長 λ_i との関係が式(1)あるいは式(2)で与えられることに変わりはない。ここで、 i は自然数であり、この添え字 i によって、ブラッググレーティングの周期及びブラッグ波長を区別する。 Λ_i は、波長 λ_i に対応する周期である。なお、後述する実施の形態において対象とする、光ファイバグレーティングにおけるブラッググレーティングの屈折率変調は、正弦関数状である。

【0044】

図2を参照して、光ファイバにグレーティング部を形成する方法について説明する。光ファイバグレーティングを形成するためには、光ファイバを構成するコアあるいはクラッドの少なくとも一方を、光誘起屈折率変化現象を起こす素材の一例として、ゲルマニウム添加石英ガラスを用いて形成された光ファイバを用いる。

【0045】

ここでは、コアにゲルマニウム添加石英ガラスを用いて形成された光ファイバを一例にして説明する。光誘起屈折率変化現象を起こす素材をコア以外のクラッドあるいはコアとクラッドの両方に用いて形成された光ファイバを素材に、光ファイバグレーティングを形成する場合も、原理的に形成方法は同じである。

【0046】

なお、ここでは、位相格子をマスクに用いてブラッググレーティングを形成する方法を説明するが、勿論、二光束干渉法によって形成しても良い。

【0047】

位相格子26を光ファイバ20に接近させて上方から紫外光を照射する。図2では光ファイバ20の上方に、かつ、光ファイバ20の中心軸と平行に位相格子26を接近させて配置させてある。紫外光の波長は、240 nm程度が適切であり、紫外光を得るための光源としては、エキシマレーザ等を用いるのが良い。位相格子26には、図2に示すように、紫外光を透過する石英ガラス等の透明材料に、周期的に形成された凹凸が存在している。図2に示すように紫外光を照射すると、位相格子26の凹凸構造からの回折光の干渉によって、光ファイバ20のコア22に周期的な紫外光強度の濃淡が形成される。すなわち、コア22にクラッド24を通して光ファイバ20の長さ方向に沿って周期的に強度が変化した紫外光を照射することができる。

【0048】

紫外光が照射された部分では、屈折率が上昇するので、結果的にコア22の長手方向に周期的な屈折率変調が形成できる。この紫外光強度の濃淡構造が正弦関数状であるので、形成される屈折率変調構造は正弦関数状になる。

【0049】

位相格子26の位相変調周期（凹凸構造の周期に等しい。）と、光ファイバ20のコア22に形成される屈折率変調構造の周期とは、既知の光学理論から求まる。すなわち、形成すべきグレーティング部のブラッグ波長 λ が与えられれば、ブラッググレーティングの周期 Λ が決まるので、それに対応する位相格子26の位相変調周期 Λ_{PL} は、既知の光学理論によって、 $\Lambda_{PL}=2\Lambda$ と、一義的に決めることができる。

【0050】

図1に示す、グレーティング部が二箇所に構成された光ファイバグレーティングを形成するには、第1グレーティング部14を形成するための位相格子と第2グレーティング部16を形成するための位相格子をそれぞれ用意する。その上で、位相調整部18が形成できるように、上述の2種類の位相格子を、間隔を取って配置して、紫外光を露光する。当然にこの露光中は、位相調整部18には紫外光が照射されないようにする。

【0051】

もちろん、紫外光を露光する前に、紫外光照射による屈折率の変化の効率を高めるために、光ファイバ中に水素（H）を浸透させる、あるいはホウ素（B）を添加する等の、既知の技術を併用しても良い。

【0052】

また、光誘起屈折率変化現象が起こらない通常の光ファイバに対して、イオン注入誘起屈折率変化現象を利用して、上述した光ファイバグレーティングと同等の特性を有する光ファイバグレーティングを製造することもできる。この場合、イオン注入誘起屈折率変化現象を引き起こす光ファイバであれば、光ファイバグレーティングを製造できる。イオン注入誘起屈折率変化現象を引き起こす光ファイバとしては、現存するほとんど全ての光ファイバが該当する。

【0053】

イオン注入誘起屈折率変化現象を利用して光ファイバグレーティングを製造するには、図2において、位相格子26の代わりに、ブラッググレーティングの周期 Λ と等しいスリットを形成したマスクを用い、紫外光の代わりに、イオンビームを用いればよい。

【0054】

図3を参照して、上述した光ファイバグレーティングの応用例として、特許文献1に開示されている、波長多重光通信用の多波長光源ユニットについて説明する。ここで、波長多重光通信用の多波長光源ユニットの構成及びその機能を説明する目的は、この多波長光源ユニットに利用される光ファイバグレーティングの、波長フィルタとして具えるべき光学的特性についての理解に資するためである。

【0055】

図3に示されているように、上述の多波長光源ユニット48は、広帯域スペクトル光源30と、光サーキュレータ32と、光ファイバグレーティング34とを具えて構成される。

【0056】

広帯域スペクトル光源30は、放出波長範囲が少なくとも使用される複数の光搬送波の波長範囲を全て含む広い放出スペクトルを持つ光源である。例えば、スーパーミネッセントダイオード等を用いて構成することができる。広帯域スペクトル光源30からは、図4(A)に示すような広帯域の放出スペクトルの光が放出される。なお、図4(A)において、横軸は波長を任意スケールで表し、及び縦軸は光強度を任意スケールで表す。

【0057】

広帯域スペクトル光源30の出力光36は、光サーキュレータ32に入り、光サーキュレータ32から光ファイバグレーティング34に導かれる。図3において光ファイバグレーティング34は、図1で示した光ファイバグレーティングを、コアの中心に沿って、このコアの中心を含む平面で切った断面を示したものである。ただし、光ファイバグレーティング34は、二箇所ではなく三箇所にグレーティング部が形成されている。すなわち、光ファイバグレーティング34は入射端44から終端46の向きに沿って、グレーティング部40a、40b及び40cが、それぞれ間隙42aおよび間隙42bを挟んで設けられており、グレーティング部それぞれのブラッグ波長が λ_1 、 λ_2 及び λ_3 となるように設定されている。

【0058】

光源30からの出力光36は、光サーキュレータ32を介して、光ファイバグレーティング34に入射し、グレーティング部40a、40b及び40cからそれぞれ、波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の光が選択的に反射されて、これら反射光は再び光サーキュレータ32に入射する。光サーキュレータ32に入射した反射光は、多波長光源ユニット48の出力光38として外部に取り出される。従って、多波長光源ユニット48の出力光38のスペクトルは、図4(B)に示すようなスペクトルとなる。もちろん波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 以外の光は、光ファイバグレーティングの終端46から放射され、多波長

光源ユニット48の出力光としては使われない。

【0059】

波長多重光通信において多重度を大きくするためには、既に説明したように、チャンネル間の光搬送波の波長差を小さくしなければならない。すなわち、図3に示したような、多波長光源ユニットを波長多重光通信における光源として使う場合に、上記波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の光が、各チャンネルに割り当てられる光となり、多重度を大きくするためには、上記波長 λ_1 と λ_2 の差あるいは、波長 λ_2 と λ_3 の差を、隣接する波長ピーク位置が互いに明確に区別できる状態を保持しつつ、小さくする必要がある。

【0060】

図5(A)及び図5(B)を参照して上述の状況を説明する。図5(A)及び図5(B)において、それぞれ、横軸は波長を任意スケールで表し、及び縦軸は光強度を任意スケールで表す。図5(A)は、上記波長 λ_1 と λ_2 の差あるいは、波長 λ_2 と λ_3 の差が十分に大きい場合、すなわち、隣接する波長ピーク位置が互いに明確に区別できる程度の差が存在している場合を示している。波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 に対応するメインローブのそれぞれのピーク位置 P_1 、 P_2 及び P_3 の間にボトムが存在する。ピーク位置 P_1 と、 P_2 との間、及び P_2 と P_3 の間のボトムを B_{12} 及び B_{23} とする。以後、ピーク位置 P_1 、 P_2 及び P_3 あるいは、ボトム B_{12} 及び B_{23} の意味を、ピークあるいはボトムそのものを指すほか、ピークあるいはボトムの存在する位置を示す波長を指す意味にも、誤解の生じない範囲で、特に断らずに使い分ける。

【0061】

図5(A)においては、ピーク位置 P_1 と P_2 の間にあるボトム B_{12} の光強度とピーク位置 P_2 と P_3 の間にあるボトム B_{23} の光強度は、メインローブのそれぞれのピーク位置 P_1 、 P_2 及び P_3 における光強度に比べて、波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 に対応するメインローブのそれぞれが明確に区別することができる程度に、十分小さい。

【0062】

一方、図5(B)においては、上記波長 λ_1' と λ_2' の差あるいは、波長 λ_2' と λ_3' の差が小さい場合を示している。この場合には、ピーク位置 P_1' と P_2' の間にあるボトム B_{12}' の光強度とピーク位置 P_2' と P_3' の間にあるボトム B_{23}' の光強度

は、メインローブのそれぞれのピーク位置 P_1' 、 P_2' 及び P_3' における光強度に比べ小さい。従って、波長 λ_1' 、 λ_2' 及び λ_3' に対応するメインローブのそれぞれは、明確に区別することができないという問題が生ずる。

【0063】

次に、図6を参照して、上述した光ファイバグレーティングのもう一つの応用例として、特許文献2に開示されている、時間拡散波長ホップ方式のOCDMシステムについて説明する。ここで時間拡散波長ホップ方式のOCDMシステムの構成及びその機能を説明する目的は、この時間拡散波長ホップ方式のOCDMシステムに利用される光ファイバグレーティングの、波長フィルタとして具えるべき光学的特性についての理解に資するためである。

【0064】

図6に示す時間拡散波長ホップ方式のOCDMシステムは、送信機50と受信機70とが光ファイバ90によって結合されて構成されている。

【0065】

まず、送信機50の構成について説明する。送信機50は、光源52、光変調器54、第1の光サーキュレータ58及び第1の光ファイバグレーティング60を具えて構成される。光源52は、複数の波長の異なる光パルスを繰返し高周波数で発振する多波長光源である。具体的にはモード同期半導体レーザである。光源52から出力される光パルスは光変調器54に入射し、送信すべきデータ信号56に変調され第1の光サーキュレータ58を介して、第1の光ファイバグレーティング60に入射する。以後、説明の便宜のため、データ信号56が伝播する伝送路を伝送路56という。

【0066】

第1の光ファイバグレーティング60は、異なるブラッグ波長を持つ3つのグレーティング部を有している。これらグレーティング部は、第1の光ファイバグレーティング60の入射端64から終端66に向かって、グレーティング部60b、60a及び60cの順に並べて構成されている。また、グレーティング部60bと60aとの間には、間隙62aが、一方グレーティング部60aと60cとの間には、間隙62bが設けられている。また、これらグレーティング部60b、60a及び60cのブラッグ波長は、それぞれ λ_2 、 λ_1 及び λ_3 である。

【0067】

仮に、送信すべきデータ信号56が、チャンネル2、チャンネル1およびチャンネル3から成っており、それぞれの信号は、波長がそれぞれ λ_2 、 λ_1 及び λ_3 である光搬送波によって伝送される場合を例にとって説明する。送信すべきデータ信号56は、第1の光サーキュレータ58を介して光ファイバグレーティング60に入射する直前においては、光搬送OCDMシステムにそれぞれ乗せられたチャンネル2、チャンネル1及びチャンネル3のデータ信号が、時間軸上で同一の位置にある。

【0068】

データ信号56が第1の光ファイバグレーティング60に入射すると、第1の光ファイバグレーティング60の入射端64から三つの各グレーティング部60b、60a及び60cまでの距離が異なることから、波長がそれぞれ λ_2 、 λ_1 及び λ_3 である各光搬送波が、各グレーティング部から反射して再び入射端64に戻ってくるまでの時間が異なる。すなわち、三つの各グレーティング部までの距離を、光符号化における各チャンネルに対する時間軸上での時間差に相当するように設定しておけば、複数の波長の光パルスが同時にこの第1の光ファイバグレーティング60に入射した時、各グレーティング部で反射した異なる波長の光搬送波に対するチャンネルパルス（送信すべきデータ信号が反映された光パルス列である。）が、入射端64において所定の順に配列されて光符号化が行なわれる。

【0069】

このようにして光符号化されたデータ信号56が、再び第1の光サーキュレータ58に入射され、光ファイバ（伝送路ともいう。）90を通して受信機70に送られる。以後伝送路90を伝播するデータ信号を、単にデータ信号90ということもある。

【0070】

ここで、図6を参照して、受信機70の構造を説明する。受信機70は、第2の光サーキュレータ72、フォトディテクタ76、閾値素子78及び第2の光ファイバグレーティング80を具えて構成される。受信機70を構成する第2の光ファイバグレーティング80の構成には、次に述べる特徴がある。

【0071】

すなわち、受信機70において、伝送路90を伝播して送られてきたデータ信号90

を光復号化するために、第2の光ファイバグレーティング80は、第1の光ファイバグレーティング60のグレーティング部の配列順序とは鏡像関係の配列とされている。第1の光ファイバグレーティング60においては、ブラッグ波長がそれぞれ λ_2 、 λ_1 及び λ_3 であるグレーティング部60b、60a及び60cの順に、入射端64から終端66に向かって配列されてあったのに対して、第2の光ファイバグレーティング80においては、これとは鏡像関係の配列とされている。

【0072】

具体的には、ブラッグ波長がそれぞれ λ_3 、 λ_1 及び λ_2 であるグレーティング部80c、80a及び80bの順に、入射端84から終端86に向かって配列され、グレーティング部80cと80aとの間には、間隙82bが設けられ、グレーティング部80aと80bとの間には、間隙82aが設けられている。また、これらグレーティング部80c、80a及び80bのブラッグ波長は、それぞれ λ_3 、 λ_1 及び λ_2 であり、間隙82bの寸法は間隙62bの寸法に等しく、間隙82aの寸法は間隙62aの寸法に等しく設定されている。

【0073】

伝送路90を伝播してきた光符号化されたデータ信号90は、第2の光サーキュレータ72を介して、第2の光ファイバグレーティング80に入射する。上述したように、第2の光ファイバグレーティング80に形成されている3つのグレーティング部は、その間隙部を含めて、第1の光ファイバグレーティング60と鏡像関係に配列されているので、伝送路90を伝播してきた光符号化されたデータ信号90は、光復号化される。すなわち、各チャンネルの光搬送波に対して加えられた到達時間差は、相殺され時間軸上で再度同一の位置に戻される。

【0074】

このようにして、送信機50の第1の光ファイバグレーティング60で光符号化されたデータ信号は、受信機70の第2の光ファイバグレーティング80によって光復号化される。光復号化されたデータ信号は、第2の光サーキュレータ72を介してデータ信号74となり、フォトディテクタ76で光電変換され、閾値素子78で、閾値判定が行なわれて、送られてきたデータ信号が、チャンネル毎に分離されて受信される。以後簡単のために、データ信号74が伝播する伝送路を伝送路74という。

【0075】

図7(A)、(B)及び(C)を参照して、上述したOCDMシステムにおける、各チャンネルのデータ信号を担う光搬送波（ここでは波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の三つの光）が、伝送路56、90及び74において、それぞれ時間軸上でどのような関係になっているかを説明する。図7(A)が、データ信号が伝送路56を伝播しているときの関係を、図7(B)が、同じく伝送路90を伝播しているときの関係を、図7(C)が、同じく伝送路74を伝播しているときの関係を表している。

【0076】

図7(A)、(B)及び(C)において、横軸は時間を、縦軸は光強度を、それぞれ任意スケールで表している。また、波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の三つの光搬送波の光パルス1つによって各チャンネルを代表して表している。見やすいように、図7の各図(A)、(B)及び(C)において、斜め上方向にずらして波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 の光パルスを描いてある。したがって、斜め上方向のずらした間隔そのものには物理上の意味はない。

【0077】

伝送路56に時間差なく送り出されたデータ信号は、図7(A)に示すように、各チャンネルが同位相で波長多重化されている。このデータ信号56は、第1の光ファイバグレーティング60で光符号化され、図7(B)に示すように、各チャンネルの位相が変調される。すなわち、この場合で言うと、チャンネル2、チャンネル1、チャンネル3の順に順序付けられて光符号化される。このように光符号化されたデータ信号90は、受信機70の第2の光ファイバグレーティング80で光復号化されて、図7(C)に示すように、再び各チャンネルが同位相で波長多重化され、元の状態に光復号化される。

【0078】

ここで、光符号化を行なう、送信機50を構成している第1の光ファイバグレーティング60のブラッグ反射特性において、メインローブのピークにおける光強度に比べて、ボトムにおける光強度が小さくない場合を考える。例えば、 λ_1 がピークとなるメインローブを持つ光搬送波(波長 λ_1 の光搬送波)の反射スペクトルは、隣接する波長 λ_2 にピークを持つ光搬送波の反射スペクトルと完全には、き

りわけることができない場合である。この場合に、第1の光ファイバグレーティング60から反射される波長 λ_1 の光搬送波のメインローブのスペクトル形状は、ピーク波長に対して、非対称の形状となる。このため、受信機70を構成している第2の光ファイバグレーティング80によって復号化されるときに、正しく光復号化されず、すなわち、光復号化が困難になる。

【0079】

上述した復号化が困難となる状況を、図8(A)、(B)及び(C)を参照して、説明する。図8(A)、(B)及び(C)の各図において、横軸は波長を、及び縦軸は光強度を表している。縦軸の光強度目盛りは任意スケールである。

【0080】

図8(A)は、第1の光ファイバグレーティング60で光符号化、すなわち光搬送波 λ_1 が、第1の光ファイバグレーティング60でフィルタリングされる場合を説明するための図である。この図8(A)において、破線で示す曲線112は、第1の光ファイバグレーティング60の反射スペクトルである。また、実線で示す曲線110は、波長 λ_1 の光搬送波のスペクトルである。波長 λ_1 の光搬送波の第1の光ファイバグレーティング60による反射スペクトルは、曲線112と曲線110との積で与えられるので、図8(B)の実線120で示す曲線で与えられるものとなる。すなわち、スペクトル強度の極大が波長 λ_1 及び波長 λ_2 に持ち、ピーク波長 λ_1 に対して、非対称の形状となる。

【0081】

受信機70を構成する第2の光ファイバグレーティング80によって光復号化される、すなわちフィルタリングされる、データ信号を担った波長 λ_1 の光搬送波のスペクトル形状は、図8(B)の実線120で示す曲線で与えられる。フィルタリングされた波長 λ_1 の光搬送波のスペクトル形状は、図8(B)で示す実線120と第2の光ファイバグレーティング80の反射スペクトルである破線122との積で与えられるので、図8(C)の実線124で示す曲線で与えられる。

【0082】

したがって、波長 λ_1 の光搬送波のスペクトルは、第1の光ファイバグレーティング60に入射する前の形状（曲線110であたえられる。）と第2の光ファイバグレ

レーティング80から出射した後の形状（曲線124で与えられる。）とは、非常に異なっている。すなわち、波長 λ_1 の光搬送波のメインローブのスペクトル形状は、ピーク波長に対して、非対称の形状となっており、このため、受信機70を構成している第2の光ファイバグレーティング80によって復号化されるときに、正しく復号化されず、復号化が困難になるという状況が、定性的に説明できる。

【0083】

これまで、光ファイバグレーティングを、その反射スペクトルを利用するという観点で説明してきたが、透過スペクトルを利用するという観点でも、同じである。すなわち、光ファイバグレーティングの透過スペクトル特性を利用して、フィルタリング等を行なう場合においても、ボトム波長における光強度が十分に小さくなければ、隣接するメインローブを明確に切り分けることができないという問題点が生ずる。

【0084】

上述したように、光ファイバグレーティングの反射あるいは透過スペクトルの隣接するメインローブが重なり合う領域が相対的に増大すると、ボトム波長における光強度が相対的に増大してくる。すなわち、必然的にボトム波長における光強度がピーク波長における光強度と近づくので、個々のメインローブを識別することが次第に困難となってくる。個々のメインローブを識別することが困難となれば、上述した特許文献1あるいは特許文献2に開示されている発明等を実施することができない。

【0085】

そこで、以下に示す実施の形態において、上述した問題点が解決できる、光ファイバグレーティングの製造方法を説明する。

【0086】

<第1の実施の形態>

光ファイバの長さ方向に沿って屈折率が周期に変化している構造のグレーティング部を、この光ファイバの長さ方向に沿って、位相調整部を挟んで、かつ互いに屈折率変化の周期を異ならせて、形成するグレーティング形成工程と、このグレーティング部と位相調整部とが設けられた光ファイバグレーティングの反射率

のスペクトルをモニタしながら、この位相調整部の光学長を調整する位相調整工程とを具える光ファイバグレーティングの製造方法の、第1の実施の形態を説明する。

【0087】

図9乃至図14を参照して、この第1の実施の形態である発明の光ファイバグレーティングの製造方法を説明する。この製造方法は、上述の通りグレーティング形成工程と、位相調整工程とからなる。グレーティング形成工程は、この光ファイバの長さ方向に沿って所定の周期で強度が変調された紫外光を照射し、グレーティング部を形成する工程である。位相調整工程は、グレーティング部と位相調整部とが形成された光ファイバグレーティングの光学特性をモニタしながら、位相調整部のみに紫外光を照射して、光ファイバグレーティングの光学特性を調整する工程である。

【0088】

以後の説明においては、コアに紫外光の照射によって屈折率が上昇する素材が用いられている光ファイバを用いる。また、光学特性とは、以後の説明においては、反射スペクトルを指すものとする。

【0089】

図9(A)は、第1グレーティング部226及び第2グレーティング部228を、第1位相調整部230となる部分を確保して形成するグレーティング形成工程（工程A）を説明する図である。光ファイバグレーティングを形成するために用いる光ファイバは、ゲルマニウム添加の石英ガラスからなるコア210と、コア210より低屈折率のガラス材料からなるクラッド212から構成されている。第1グレーティング部226を形成する部分に位相格子214を、第2グレーティング部228を形成する部分に位相格子216を、第1位相調整部となる間隙230をあけて配置し、位相格子214及び216が配置された以外の部分には遮光マスク218、220及び222を配置する。位相格子及び遮光マスクは、光ファイバの中心軸の方向と平行に設置する。

【0090】

位相格子214、216は、例えば、紫外光を透過する石英ガラス等の透明材料に、周期的に形成された凹凸が形成されている、平板である。この位相格子214、216

に形成された凹凸構造の周期は、既に説明したように、製造すべきブラッググレーティングの周期に対応させて決められる。

【0091】

図9 (A)に示す上方から、光誘起屈折率変化現象が発生するに十分な波長である、240 nm程度の波長の紫外光224 (第1の光) を照射する。以後240 nm程度の波長の紫外光を、単に紫外光という。この工程Aによって、第1グレーティング部226及び第2グレーティング部228が、第1位相調整部となる部分230を確保して形成される。

【0092】

市販の光誘起屈折率変化現象を起こす素材を用いて形成された光ファイバ (例えば、フォトセンシティブファイバ等の名称で、ニューポート社から市販されている。) を用いて、波長248 nmのパルスエキシマレーザ (ビームの強度 0.5 J/cm^2) の露光によって、グレーティング部を形成するには、概ね10分程度の露光が必要である。波長1550 nm近傍の光に対する光ファイバグレーティングを形成するための、光誘起屈折率変化現象を起こす素材を用いて形成された光ファイバとしては、開口比0.11から0.13、伝播光のフィールド径 (光ファイバを伝播する光の伝播モードの光束の直径) が $9.6\text{ }\mu\text{ m}$ から $11.75\text{ }\mu\text{ m}$ 程度のものが、ニューポート社からF-SBG-15等の名称で市販されている。

【0093】

図9(B)は、第1グレーティング部226と第2グレーティング部228との間の第1位相調整部230に紫外光を照射して位相調整を行なう位相調整工程(工程B)を説明する図である。第1位相調整部230を除く部分に遮光マスク236及び238を設定する。これら遮光マスク236及び238を設定したら、第1グレーティング部226及び第2グレーティング部228からの反射光を反射光測定装置247によって観測しながら、紫外光240 (第2の光) を第1位相調整部230に照射する。

【0094】

反射光測定装置247は、光サーキュレータ245と光強度測定器246を具えている。光強度測定器246には、例えば光スペクトラムアナライザ等が利用でき、波長に対するスペクトル強度が、実時間で観測できる装置であれば良い。ここで、グ

レーティング部からの反射光を光強度測定器によって観測する方法の一つを説明する。

【 0 0 9 5 】

まず、光サーキュレータ245を介して入射光242をコア232に入射させる。入射光242は、その一部が、第1グレーティング部226及び第2グレーティング部228から反射されて反射光243となり、この反射光243は、再び光サーキュレータ245を介して反射光244となり光強度測定器246に入射する。このように反射光244を測定できる状態にしておいて、第1グレーティング部226と第2グレーティング部228との間の第1位相調整部230に紫外光240の照射を開始する。この紫外光240を光強度測定器246で観測しつつ、反射光244のスペクトルが所望の形状なった時点で紫外光240の照射を終了する。紫外光240の照射を終了させるべき、反射光244のスペクトルの所望の形状については、後述する。このようにして、位相調整工程(工程B)を終了する。

【 0 0 9 6 】

図9(C)は、第3グレーティング部262を、第2グレーティング部228との間に、第2位相調整部260となる部分を確保して形成するグレーティング形成工程(工程C)を説明する図である。第3グレーティング部262を形成する場所に、第2位相調整部260となる部分を確保して位相格子252を設置して、位相格子252が設置された以外の場所には、遮光マスク254及び256を設置して遮光できるようにする。この状態で、図9(C)に示す上方から紫外光258(第1の光)を照射する。この工程Cによって、第3グレーティング部262が、第2位相調整部260となる部分を確保して形成される。

【 0 0 9 7 】

図9(D)は、第2グレーティング部228と第3グレーティング部262との間の第2位相調整部260に紫外光を照射して位相調整を行なう位相調整工程(工程D)を説明する図である。第2位相調整部260を除く部分に遮光マスク268及び270を設定する。これら遮光マスク268及び270を設定したら、第1グレーティング部226、第2グレーティング部228及び第3グレーティング部262からの反射光を反射光測定装置280によって観測しながら、紫外光272を照射する。反射光測定装置280は、光サーキ

キュレータ278と光強度測定器279を具えている。光サーキュレータ278と光強度測定器279には、上述の工程Bにおける光サーキュレータ245と光強度測定器246が利用できる。

【0098】

この工程Dにおいても、上述した工程Bにおけるのと同様の方法で、位相調整をする。まず、光サーキュレータ278を介して入射光274をコア264に入射させる。入射光274は、その一部が、第1グレーティング部226、第2グレーティング部228及び第3グレーティング部262から反射されて反射光275となり、この反射光275は、再び光サーキュレータ278を介して反射光276となり光強度測定器279に入射する。このように反射光276を測定できる状態にしておいて、第2グレーティング部228と第3グレーティング部262との間の第2位相調整部260に紫外光（第2の光）272の照射を開始する。この紫外光272を光強度測定器279で観測しつつ、反射光276のスペクトルが所望の形状なった時点で紫外光272の照射を終了する。紫外光272の照射を終了させるべき、反射光276のスペクトルの所望の形状については、後述する。このようにして、位相調整工程Dを終了する。

【0099】

上述したように、コアに紫外光の照射によって屈折率が上昇する素材が用いられている光ファイバを用いて、光ファイバグレーティングを製造するには、工程Aから工程Dまでの各工程に従えばよい。

【0100】

一方、イオン注入誘起屈折率変化現象を利用して、光ファイバグレーティングを製造する場合には、位相格子214、216及び252の代わりにブラッググレーティングの周期 Λ と等しいスリットを形成したマスクを用い、紫外光の代わりに、イオンビームを用いればよい。また、位相調整工程B及びDを実施するには、イオンビームを位相調整部に照射しつつ、反射光測定装置247及び280によって、反射スペクトルを観測し、最適なイオンビーム照射量を決めればよい。その他の点は、光誘起屈折率変化現象を起こす光ファイバに対する処理工程と、同様に処理を行なえばよい。

【0101】

上述した方法で形成される光ファイバグレーティングの構造と、その光学的特性について説明する。ここでは、具体的な光ファイバグレーティングを例にして、その屈折率分布構造とその反射スペクトルの形状との関係を、及び位相調整工程におけるその反射スペクトル形状の変化の様子を、シミュレーションの結果を用いて説明する。このシミュレーションの結果を通して、この発明の効果を説明する。

【0102】

使用する光ファイバは、コア径が $4\ \mu\text{m}$ で、波長 $1.553\ \text{nm}$ の光に対する屈折率が 1.4511 である、ゲルマニウム添加の石英ガラスで形成されており、クラッドは、波長 $1.553\ \text{nm}$ の光に対する屈折率が 1.445 である石英ガラスで形成されている。この光ファイバを基本モードで伝播する波長 $1.553\ \text{nm}$ の光に対する実効屈折率は、 1.44783 である。

【0103】

グレーティング部は三箇所形成され、その各グレーティング部の光ファイバの中心軸に沿う方向の長さは、 $4.8\ \text{mm}$ であり、グレーティング部の屈折率変調度（高屈折率部の屈折率と低屈折率部の屈折率の差 Δn ）が 2.0×10^{-4} である。また、位相調整部の幾何学的長さは、光ファイバの中心軸に沿う長さで、この構成例では、 $1.8\ \text{mm}$ である。光ファイバグレーティングは、第1グレーティング部、第2グレーティング部及び第3グレーティング部の順に配置されており、それぞれのブラッググレーティングの周期 Λ_1 、 Λ_2 及び Λ_3 はそれぞれ、 $\Lambda_1 = 0.53553\ \mu\text{m}$ 、 $\Lambda_2 = 0.53567\ \mu\text{m}$ 及び $\Lambda_3 = 0.53581\ \mu\text{m}$ である。したがってそれぞれのブラッグ波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 は、 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ の関係にある。

【0104】

シミュレーションをした光（第3の光）の波長の範囲は、 $1548\ \text{nm}$ から $1554\ \text{nm}$ の範囲であり、この広さ $6\ \text{nm}$ 幅の範囲を100等分した各波長において、反射光強度を計算し、反射スペクトルの形状を求めた。

【0105】

図10に、第1の実施の形態における光ファイバグレーティングの屈折率分布構造を示す。横軸は光ファイバグレーティングの長さ方向の寸法を mm 単位で目盛つ

である。縦軸は光ファイバグレーティングの実効屈折率の変化量 Δn の値を示す。実効屈折率の変化量 Δn とは、光誘起屈折率変化によって増大した屈折率の増量である。すなわち、基本モードで伝播する波長 1.553 nm の光に対する実効屈折率 n が、 $n=1.44783$ である光ファイバを、紫外光を照射して、この実効屈折率が $n+\Delta n=1.44783+2.0\times 10^{-4}$ となった場合を想定すると、光誘起屈折率変化によって増大した屈折率の増量は、 2.0×10^{-4} であるので、 $\Delta n=2.0\times 10^{-4}$ である。

【0 1 0 6】

図10に示した、第1の実施の形態における光ファイバグレーティングの屈折率分布構造の例では、屈折率変調度 Δn は 2.0×10^{-4} と、グレーティング部全体にわたって一定である。

【0 1 0 7】

すなわち、第1の実施の形態における光ファイバグレーティングの屈折率分布は、次式で与えられる。

【0 1 0 8】

$$1.0\times 10^{-4}(1-\cos(2\pi x/\Lambda)) \quad (3)$$

ここで、 Λ は、ブラッググレーティングの周期であり、光ファイバの長さ方向を x 軸にとってある。

【0 1 0 9】

第1の実施の形態における光ファイバグレーティングは、第1グレーティング部510、第1位相調整部516、第2グレーティング部512、第2位相調整部518及び第3グレーティング部514が、この順序で形成される。第1グレーティング部510は、横軸上で0 mmから4.8 mmの間に、第2グレーティング部512は、横軸上で6.6 mmから11.4 mmの間に、及び第3グレーティング部514は、横軸上で13.25 mmから18.0 mmの間に、それぞれ形成される。また、第1位相調整部516、は、横軸上で、4.8 mmから6.6 mmの間に、及び第2位相調整部518、は、横軸上で、11.4 mmから13.2 mmの間に、それぞれ形成される。

【0 1 1 0】

第1、第2及び第3グレーティング部の屈折率構造は、正弦曲線形状の細かな構造として、各グレーティング部の存在する場所全てに一様に形成されるが、それ

それぞれのグレーティング部の両端部分のみの構造を描き、中央部分では省略してある。

【0111】

図11は、第1グレーティング部510及び第2グレーティング部512からのブラッグ反射に対応する反射スペクトルを示す。横軸は、波長をnm単位で目盛り、及び縦軸は、反射率をdBで目盛ってある。P₁及びP₂で示すピークは、それぞれ、第1グレーティング部510及び第2グレーティング部512からのブラッグ反射に対応する。この図11に示す反射スペクトルの中で、 0π と示した曲線が、図9において説明した工程Bにおいて、紫外光照射を行なう直前に観測される反射スペクトルである。

【0112】

図11中で、 0π 、 0.2π 、 0.3π 、 0.4π 、 0.46π 、 0.52π 、 0.56π 、 0.6π と示したパラメータは、上述の工程Bにおいて、紫外光を照射する直前における位相調整部516の光学長を基準にして、紫外光を照射することによって位相調整部516の部分の屈折率が増大するために変化する、光学長の変化量を示す。すなわち、光ファイバ中を伝播する光の波長 λ に相当する長さを 2π に対応させた位相量で示した値である。ここの値をパラメータにとって、紫外光の照射量を増やしていった場合の、反射スペクトルの変化する様子を重ねて示した。

【0113】

ピークP₁及びP₂をもつメインローブの両側に、A及びBと示した波長の領域にサイドローブが複雑な形状で存在するが、この点については後述することとして、ここでは、ボトムb₁₂の変化の様子が重要である。そこで、図12に、工程Bにおいて観測される反射スペクトルのボトムb₁₂の部分の変化の様子を拡大して示す。

【0114】

図12の横軸は、波長をnm単位で目盛り、及び縦軸は、反射率をdBで目盛ってある。図12中で、各反射スペクトルを示す曲線を区別しやすいように、各反射スペクトルを示す曲線の上に○あるいは△等で印をつけてある。位相調整部516の光学長が、紫外光の照射によって、位相調整部516の部分の屈折率が増大するために 0π 、 0.2π 、 0.3π 、 0.4π 、 0.46π と増大するにつれて、ボトムの光強度は減

少し、ここから更に 0.52π 、 0.56π 、 0.6π と増大するにつれて、ボトム的光強度は、増大する。すなわち、位相調整部516の光学長が、位相差にして 0.46π 変化した(伸びた)段階で、紫外光の照射を終了すれば、所望の反射スペクトルが得られる光ファイバグレーティングが形成できることを意味する。

【0115】

位相差にして 0.46π 変化した段階で、紫外光の照射を終了すれば、ピーク位置 P_1 と P_2 の間にあるボトム b_{12} の光強度を最小にすることができ、 P_1 と P_2 とにピークをもつメインローブを最もよく分離できる。すなわち、紫外光照射の終了時点を決める、反射光のスペクトルの所望の形状とは、ボトム的光強度が最小となりメインローブを最もよく分離できる形状を意味する。

【0116】

上述したように、図9を参照して説明した、位相調整工程(工程B)を終了する時点とは、位相調整部516の光学長が、位相差にして 0.46π 変化した段階である。この終了する時点は、図9(B)を参照して説明したように、反射光測定装置によって反射スペクトルを観測しつつ、紫外光(第2の光)を照射することによって確定することができる。

【0117】

図13は、第1グレーティング部510、第2グレーティング部512及び第3グレーティング部514からのブラッグ反射に対応する反射スペクトルを示す。横軸は、波長をnm単位で目盛り、及び縦軸は、反射率をdBで目盛っている。 P_1 、 P_2 及び P_3 で示すピークは、それぞれ、第1グレーティング部510、第2グレーティング部512及び第3グレーティング部514からのブラッグ反射に対応する。この図13に示す反射スペクトルの中で、 0π と示した曲線が、図9において説明した工程Dにおいて、紫外光照射を行なう直前に観測される反射スペクトルである。

【0118】

図13中で、 0π 、 0.2π 、 0.4π 、 0.41π 、 0.42π 、 0.43π 、 0.44π と示したパラメータは、上述の工程Dにおいて、紫外光を照射する直前における位相調整部518の光学長を基準にして、紫外光を照射することによって位相調整部518の部分の屈折率が増大するために変化する光学長を位相量に換算して示した値である。

ここの値をパラメータにとって、紫外光の照射を続けた場合の、反射スペクトルの変化する様子を重ねて示した。

【0119】

メインローブ P_1 、 P_2 及び P_3 の両側に、 A' 及び B' と示した波長の領域にサイドローブが複雑な形状で存在するが、この点については後述することとして、ここでは、ボトム b_{12} 及び b_{23} の変化の様子が重要である。そこで、図14に、工程Dにおいて観測される反射スペクトルのボトム b_{12} 及び b_{23} の部分を拡大して示す。図14にボトム b_{12} 部分の拡大図aおよびボトム b_{23} 部分の拡大図bをそれぞれ示す。

【0120】

図14の横軸は、波長をnm単位で目盛り、及び縦軸は、反射率をdBで目盛っている。図14中で、各反射スペクトル曲線を区別しやすいように、各反射スペクトル曲線の上に○あるいは△等で印をつけてある。

【0121】

位相調整部518の光学長が、紫外光の照射によって、位相調整部518の部分の屈折率が増大するために 0π 、 0.2π 、 0.4π と増大する(伸びる)につれて、ボトム b_{12} 及び b_{23} の光強度は共に減少し、ここから更に 0.41π 、 0.42π 、 0.43π と、増大するにつれて、ボトム b_{12} の光強度は増大し、ボトム b_{23} の光強度は、ほとんど変化しない。

【0122】

すなわち、位相調整部518の光学長が、位相差にして 0.4π 変化した段階で、紫外光の照射を終了すれば、所望の反射スペクトルが得られる光ファイバグレーティングが形成できることを意味する。位相差にして 0.4π 変化した段階で、紫外光の照射を終了すれば、ピーク位置 P_1 と P_2 の間にあるボトム b_{12} の光強度を最小にすることができ、 P_1 と P_2 とにピークをもつメインローブを最もよく分離でき、かつ P_2 と P_3 とにピークをもつメインローブも最もよく分離できる。

【0123】

図9を参照して説明した、位相調整工程(工程D)を終了する時点とは、位相調整部518の光学長が、位相差にして 0.4π 変化した段階である。この終了する時点は、図9(D)を参照して説明したように、反射光測定装置によって反射スペクトルを

観測しつつ、紫外光（第2の光）を照射することによって確定することができる。

【0124】

<第2の実施の形態>

図1、図9及び図15乃至図23を参照して、この発明の第2の実施の形態である光ファイバグレーティングの製造方法を説明する。この方法も、第1の実施の形態と同様にグレーティング形成工程と、位相調整工程とからなるが、グレーティング形成工程が、第1の実施の形態と異なる。

【0125】

図1に示すような、第1グレーティング部14と第2グレーティング部16とからなる光ファイバグレーティング12を例にして説明する。第1グレーティング部14及び第2グレーティング部16は、図9を参照して既に説明したように、工程Aにおいて、位相格子214及び216を使用して形成される。こうして形成されるグレーティング部の屈折率構造を、第1グレーティング部14を例にとって説明する。第2グレーティング部16においても以下に説明する事情は、同じである。

【0126】

図15(A)は、第1の実施の形態における、第1グレーティング部14の屈折率分布構造を表している。図15(A)において、横軸は光ファイバの長さ方向の寸法(位置座標)を、及び縦軸は屈折率の変化量(Δn)をそれぞれ定性的に表している。光誘起屈折率変化現象を引き起こす光ファイバの、紫外光（第1の光）が照射された部分の実効屈折率は $n+\Delta n$ と表される。ここに、 n は紫外光が照射されていない部分の実効屈折率を表し、 Δn は、紫外光を照射したために増加した屈折率分を示している。

【0127】

図15(A)中で、S及びEで示した位置が、それぞれ第1グレーティング部14の一端及び他端に対応する。すなわち、図1において、S及びEと示した位置に対応した位置である。また、屈折率の変化量(Δn)の極大と極小の差で与えられる振幅を、以後において、グレーティング部の長さ方向に沿った屈折率変調度という。

【0128】

図9を参照して説明した工程Aにおいて形成されるグレーティング部の屈折率構造は、その屈折率変調度が、グレーティング部の全体にわたって一定である。屈折率変調度が、図15(A)に示すように、グレーティング部全体にわたって一定であるブラッググレーティングの反射スペクトルは、図16(A)に示すような形状となる。図16(A)において、横軸は波長 (nm) を表し、及び縦軸は反射率 (dB) を表している。

【0129】

図16(A)において、波長1551 nm付近に現れているピークP₁₄ 及びP₁₆は、それぞれ、図1で示す第1グレーティング部14及び第2グレーティング部16からの反射スペクトルのピークである。ただし、 $\lambda_1 < \lambda_2$ すなわち、 $\Lambda_1 < \Lambda_2$ であるとする。図16(A)において、510及び512で示す波長領域の部分はサイドローブと称される複数のピークの集合である。このサイドローブは、光ファイバグレーティングを光分波器等として利用する場合に、切り分けるべき波長の光を完全には切り分けられない事態を招来する。

【0130】

上述したサイドローブは、次のようにグレーティング部の屈折率分布構造を、形成することで、抑圧できることが知られている。すなわち、このグレーティング部の両端に近いほど、屈折率変調度を小さく形成する。このように、グレーティング部の両端に近いほど、屈折率変調度を小さく形成することをアポダイズと称する。

【0131】

以下の説明において、図1で示す第1グレーティング部14及び第2グレーティング部16がアポダイズされたブラッググレーティングであるとする。

【0132】

図15(B)に、アポダイズされたグレーティング部の屈折率分布構造を表す。図15(B)において、横軸は光ファイバの長さ方向の寸法(位置座標)を、及び縦軸は屈折率の変化量 (Δn) をそれぞれ定性的に表している。図15(B)中で、横軸のS' 及びE'で示した位置が、それぞれアポダイズされたグレーティング部の一端及

び他端にそれぞれ対応する。例えば、図1において、S'及びE'で示した位置である。図15(B)に示すように、横軸のS'及びE'と示した位置に近いほど、グレーティング部の中央領域に比べて屈折率の変化量(Δn)がより小さくなるので、グレーティング部の両端で中央領域よりも、屈折率変調度が小さくなるように形成されていることが分かる。

【0133】

屈折率変調度が、図15(B)に示すように、グレーティング部の両端に近いほど小さく形成されているブラッググレーティングの反射スペクトルは、図16(B)に示すような形状となる。図16(B)においても、図16(A)と同様に、横軸は波長(nm)を表し、及び縦軸は反射率(dB)を表している。

【0134】

グレーティング周期は、アポダイズされていない場合と同じ、第1グレーティング部14の周期が Λ_1 であり、第2グレーティング部16の周期が Λ_2 であるとし、かつ $\lambda_1 < \lambda_2$ 、すなわち、 $\Lambda_1 < \Lambda_2$ 、であるとする。

【0135】

図16(B)において、波長1551 nm付近に現れているピークP₁₄'及びP₁₆'は、それぞれ第1グレーティング部14及び第2グレーティング部16からの反射スペクトルのピークである。図16(B)においては、図16(A)において存在した510及び512で示してサイドローブと称される、複数のピークが存在しない。しかし、アポダイズされたブラッググレーティングからの反射スペクトルは、そのメインローブの半値全幅が広がる。このことを反映して、図16(A)と図16(B)とにおいて、反射スペクトルのボトムB₄₆とボトムB₄₆'とを比較すると、ボトムB₄₆は反射率が-16 dB程度であるのに対して、ボトムB₄₆'の反射率は、-14dB程度であるので、光強度が大きい。すなわち、このために、第1グレーティング部14及び第2グレーティング部16からの反射スペクトルのピークからの反射光を明確に分離できない事態となる。

【0136】

すなわち、アポダイズされたブラッググレーティングを形成することで、図16(A)において存在した510及び512で示すサイドローブと称される複数のピークが

存在しなくなる。そのため、光ファイバグレーティングを光分波器等として利用する場合に、切り分けるべき波長の光を完全には切り分けられないという事態は解決する。しかし、反射スペクトルのボトムB₄₆'の光強度が大きくなり、このために第1グレーティング部14及び第2グレーティング部16からの反射スペクトルのピークからの反射光を明確に分離できないという問題が発生する。

【0137】

そこで、第1の実施形態と同様に、位相調整工程において反射スペクトルのボトムにおける光強度を低減することを試みる。

【0138】

図17、図18及び図15を参照して、第2の実施の形態における、アポダイズされたグレーティング部を有する光ファイバグレーティングの製造方法を説明する。

【0139】

まず、図17及び図15を参照して、ブラッググレーティングのアポダイズの原理を説明する。図17において、横軸に光ファイバの長さ方向の寸法（位置座標）を、及び縦軸に透過率を任意スケールでとってある。仮に、ここでは、グレーティング部の長さをLとする。図17は、グレーティングの屈折率構造にアポダイズを施すために利用する、透過率分布マスクの透過率特性を示す図である。透過率分布マスクは、紫外光の透過率がグレーティング部の中央部（図中、Mで示す部分）において最大となり、かつこのグレーティング部の両端（図中、S'及びE'で示す部分）で最小となる、次式(4)で表される余弦関数型の透過特性を有する。

【0140】

$$1 - \cos(2\pi/L)x \quad (4)$$

ただし、光ファイバの長さ方向、すなわち、中心軸の方向をx軸にとっている。図17中、S'及びE'で示す部分は、図1で示す光ファイバグレーティングのS'及びE'で示す部分に対応する。

【0141】

位相格子と、この余弦関数型の透過特性を有する透過率分布マスクとを重ねて、グレーティング形成工程で紫外光露光時のマスクとして利用する。このようにすることで、透過率分布マスクによって、グレーティング部の両端に近いほど紫

外光強度が小さくなる。このことによって、位相格子によるマスクによって形成される紫外光の強度変調度もグレーティング部の両端に近いほど小さくなる。もちろん、位相格子のみをマスクとして用いて露光して、その後に再び透過率分布マスクをマスクとして露光するという手順、すなわち二段階に分けて露光してもよい。位相格子と透過率分布マスクとを重ねてマスクとして露光するか、別々に二段階に分けて露光するか、何れの手法を用いるかは、製造工程の設計上の問題である。

【0142】

紫外光の強度変調度とは、位相格子によって光ファイバのコアに形成される紫外光の干渉縞の暗い部分と明るい部分との強度差をいう。すなわち、グレーティング部の両端に近いほど上述の干渉縞の明るい部分の紫外光強度が小さくなることを意味する。したがって、図15(B)に示すような屈折率分布構造を持つブラッググレーティングが形成できる。

【0143】

次に、図18を参照して、この発明の第2の実施形態である、アポダイズされたブラッググレーティングを具える、光ファイバグレーティングの製造方法を説明する。この製造方法も、第1の実施の形態における、光ファイバグレーティングの製造方法と同様に、グレーティング形成工程と、位相調整工程とからなる。位相調整工程は、第1の実施の形態における、光ファイバグレーティングの製造方法と同様であるが、グレーティング形成工程が一部相違する。

【0144】

図18(A)は、第1グレーティング部326及び第2グレーティング部328とを、第1位相調整部330となる部分を確保して形成する、アポダイズされたグレーティング形成工程（工程A'）を説明する図である。光ファイバグレーティングを形成するために用いる光ファイバは、ゲルマニウム添加の石英ガラスからなるコア310と、コア310より低屈折率のガラス材料からなるクラッド312から構成されている。

【0145】

図18(A)に示すように第1グレーティング部326を形成する部分に位相格子314と

透過率分布マスク350とを重ね、また、第2グレーティング部328を形成する部分に位相格子316と透過率分布マスク352とを重ねる。この構成例では、光ファイバ側から位相格子及び透過率分布マスクの順に配置させている。また、隣接する位相格子314及び316を、第1位相調整部となる間隙330をあけて、配置する。第1の実施の形態におけるグレーティング形成工程と異なる点は、位相格子のみならず透過率分布マスクを重ねて用いる点にある。グレーティング部が形成される箇所以外の部分は、遮光マスク318、320及び322を設置して光ファイバに向かう光を遮光できるようにして、この状態で、図18(A)に示す上方から紫外光324（第1の光）を照射する。このことによって、上述したアポダイズされたブラッググレーティングが、第1グレーティング部326及び第2グレーティング部328の箇所に、形成できる。位相格子のみならず透過率分布マスクを重ねて用いること以外には、第1の実施の形態で説明した工程Aと同一であるので、詳細な説明を省略する。

【0 1 4 6】

グレーティング形成工程（工程A'）に引き続いて位相調整工程Bを実施する（図18においてはこの工程Bを省略してある。）。ここでは第1の実施の形態における工程Bと区別するために、第2の実施の形態におけるこの工程に対応する工程を工程B'とする。

【0 1 4 7】

図9を参照して説明したとおり、工程B'においても第1位相調整部330を除く部分に遮光マスクを設定する。これら遮光マスクを設定したら、第1グレーティング部326及び第2グレーティング部328からの反射光のスペクトルを反射光測定装置によって観測しながら、紫外光（第2の光）を照射し、反射光スペクトルが所望の形状なった時点で紫外光の照射を終了する。このようにして、図9を参照して説明したように位相調整工程B'を終了する。

【0 1 4 8】

図18(B)は、第3グレーティング部348を、第2グレーティング部328との間に、第2位相調整部346となる部分を確保して形成する、周期的屈折率変調工程（工程C'）を説明する図である。第3グレーティング部348を形成する場所に、位相格

子340及び透過率分布マスク354を重ねて設置して、これ以外の場所には、遮光マスク336及び338を設置して光ファイバに向かう光を遮光できるようにする。この状態で、図18(C)に示す上方から紫外光344（第1の光）を照射する。この工程C'によって、第3グレーティング部348が、第2位相調整部346となる部分を確保して形成される。

【0149】

この工程においても、第1の実施の形態におけるグレーティング形成工程と異なる点は、位相格子のみならず透過率分布マスクを重ねて用いる点にあることは、上述した工程A'における事情と同一であるので、説明を省略する。

【0150】

この工程C'を終えたならば、図9において説明した位相調整工程Dを実施する（図18においてはこの工程Dを省略してある。）。ここでは第1の実施の形態における工程Dと区別するために、第2の実施の形態におけるこの工程に対応する工程を工程D'とする。

【0151】

図9において説明したとおり、工程D'においても、位相調整部を除く部分に遮光マスクを設定する。これら遮光マスクを設定したら、第1グレーティング部326、第2グレーティング部328及び第3グレーティング部348からの反射光のスペクトルを反射光測定装置によって観測しながら、紫外光（第2の光）を第2位相調整部346に照射し、反射光スペクトルが所望の形状なった時点で紫外光の照射を終了する。このようにして、図9を参照して説明したように位相調整工程D'を終了する。

【0152】

上述したように、コアに紫外光の照射によって屈折率が上昇する素材が用いられている光ファイバを用いて、アポダイズされたブラッググレーティング部を有する光ファイバレーティングを製造するには、グレーティング形成工程A'及びグレーティング形成工程C'において、位相格子のみならず透過率分布マスクを重ねて用い、紫外光を照射すればよい。

【0153】

上述した第2の実施の形態における方法で形成される光ファイバグレーティングの構造と、その光学的特性について説明する。第1の実施の形態において説明したのと同様に、ここでも、具体的な光ファイバグレーティングを例にして、その屈折率分布構造とその反射スペクトルの形状との関係を、及び位相調整工程におけるその反射スペクトル形状の変化の様子を、シミュレーションの結果を用いて説明する。このシミュレーションの結果を通して、この発明の効果を説明する。

【0154】

使用する光ファイバは、第1の実施の形態と同様、コア径が $4\ \mu\text{m}$ で、波長 $1.553\ \text{nm}$ の光に対する屈折率が 1.4511 である、ゲルマニウム添加の石英ガラスで形成されており、クラッドは、波長 $1.553\ \text{nm}$ の光に対する屈折率が 1.445 である石英ガラスで形成されている。この光ファイバを基本モードで伝播する波長 $1.553\ \text{nm}$ の光に対する実効屈折率は、 1.44783 である。

【0155】

グレーティング部は三箇所形成され、その各グレーティング部の光ファイバの中心軸に沿った長さは、 $4.8\ \text{mm}$ であり、グレーティング部の屈折率変調度は余弦関数でアポダイズされている。すなわち、グレーティング部の屈折率を与える曲線の包絡線が余弦関数となっている。この包絡線は、上述の式(4)で与えられる。

【0156】

また、位相調整部の光ファイバの中心軸に沿った幾何学的長さは、 $1.8\ \text{mm}$ である。光ファイバグレーティングは、第1グレーティング部、第2グレーティング部及び第3グレーティング部の順に配置されており、それぞれのブラッググレーティングの周期 Λ_1 、 Λ_2 及び Λ_3 はそれぞれ、 $\Lambda_1=0.53553\ \mu\text{m}$ 、 $\Lambda_2=0.53567\ \mu\text{m}$ 及び $\Lambda_3=0.53581\ \mu\text{m}$ である。したがってそれぞれのブラッグ波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 は、 $\lambda_1<\lambda_2<\lambda_3$ の関係にある。

【0157】

シミュレーションをした光の波長の範囲は、 $1548\ \text{nm}$ から $1554\ \text{nm}$ の範囲であり、この広さ $6\ \text{nm}$ 幅の範囲を100等分した各波長において、反射光強度を計算し、

反射スペクトルの形状を求めた。

【0158】

図19に、第2の実施の形態における光ファイバグレーティングの屈折率分布構造を示す。横軸は光ファイバグレーティングの長さ方法の寸法をmm単位で目盛っている。縦軸は光ファイバグレーティングの実効屈折率の変化量 Δn の値を示す。実効屈折率の変化量 Δn は、第1の実施の形態と同様に、 $\Delta n = 2.0 \times 10^{-4}$ である。屈折率変調度 Δn は、最大が $\Delta n = 4.0 \times 10^{-4}$ 、最小が $\Delta n = 0$ であり、平均が $\Delta n = 2.0 \times 10^{-4}$ でかつ極大極小の位置を連ねる包絡線が上述の式(4)で与えられる形状である。

【0159】

第2の実施の形態における光ファイバグレーティングは、第1グレーティング部530、第1位相調整部536、第2グレーティング部532、第2位相調整部538及び第3グレーティング部534が、この順序で形成される。第1グレーティング部530は、横軸上で0 mmから4.8 mmの間に、第2グレーティング部532は、横軸上で6.6 mmから11.4 mmの間に、及び第3グレーティング部534は、横軸上で13.2 mmから18.0 mmの間に、それぞれ形成される。また、第1位相調整部536は、横軸上で、4.8 mmから6.6 mmの間に、及び第2位相調整部538は、横軸上で、11.4 mmから13.2 mmの間に、それぞれ形成される。

【0160】

第1、第2及び第3グレーティング部の屈折率構造は、極大極小の位置が、包絡線で挟まれた正弦曲線形状の細かな構造として、各グレーティング部の存在する場所全てに形成されるが、それぞれのグレーティング部の両端部分のみの構造を描き、中央部分では省略してある。

【0161】

図20は、第1グレーティング部530及び第2グレーティング部532からのブラッグ反射に対応する反射スペクトルを示す。横軸は、波長をnm単位で目盛り、及び縦軸は、反射率をdBで目盛ってそれぞれ示してある。P₄及びP₅で示すピークは、それぞれ、第1グレーティング部530及び第2グレーティング部532からのブラッグ反射に対応する。この図20に示す反射スペクトルの中で、0πと示した曲線が、上

述した工程B'における位相調整部536に、紫外光照射を行なう直前に観測される反射スペクトルである。

【0162】

図20中で、 0π 、 0.02π 、 0.04π 、 0.06π 、 0.08π 、 0.1π 、 0.11π 、 0.12π と示したパラメータは、紫外光を照射する直前における位相調整部536の光学長を基準にして、紫外光を照射することによって位相調整部536の部分の屈折率が増大するために変化する、光学長の変化量を示す。すなわち、光ファイバ中を伝播する光の波長 λ に相当する長さを 2π に対応させた位相量で示した値である。図20には、これらの値をパラメータにとって、紫外光の照射量を増やしていった場合の、反射スペクトルの変化する様子を重ねてして示した。

【0163】

ピークP₄及びP₅をもつメインローブの両側には、第1の実施の形態の光ファイバグレーティングとは異なり、サイドローブが存在しない。また、ボトムb₄₅の変化の様子が、第1の実施の形態において重要であったのと同様に重要である。そこで、図21に、位相調整部536に紫外光照射を行なう工程において観測される反射スペクトルのボトムb₄₅の部分の変化の様子を拡大して示す。

【0164】

図21の横軸は、波長をnm単位で目盛り、及び縦軸は、反射率をdBで目盛って示してある。図21中で、各反射スペクトルを示す曲線を区別しやすいように、各反射スペクトルを示す曲線の上に○あるいは△等で印をつけてある。位相調整部536の光学長が、紫外光の照射によって、位相調整部536の部分の屈折率が増大するために 0π 、 0.02π 、 0.04π 、 0.06π 、 0.08π 、 0.1π 増大するにつれて、ボトムの光強度は減少し、ここから更に 0.11π 、 0.12π と増大するにつれて、ボトムの光強度は、増大する。すなわち、位相調整部536の光学長が、位相差にして 0.1π 変化した(伸びた)段階で、紫外光の照射を終了すれば、所望の反射スペクトルが得られる光ファイバグレーティングが形成できることを意味する。

【0165】

位相差にして 0.1π 変化した段階で、紫外光の照射を終了すれば、ピーク位置P₄とP₅の間にあるボトムb₄₅の光強度を最小にすることができ、P₄とP₅とにピーク

をもつメインローブを最もよく分離できる。すなわち、紫外光照射の終了時点を決める、反射光のスペクトルの所望の形状とは、ボトムb₄₅の光強度が最小となりメインローブを最もよく分離できる形状を意味する。

【0166】

上述したように、図9を参照して説明した、位相調整工程(工程B')を終了する時点とは、位相調整部536の光学長が、位相差にして 0.1π 変化した段階である。この終了する時点は、図9(B)を参照して説明したように、反射光測定装置によって反射スペクトルを観測しつつ、紫外光を照射することによって確定することができる。

【0167】

図22は、第1グレーティング部530、第2グレーティング部532及び第3グレーティング部534からのブラッグ反射に対応する反射スペクトルを示す。横軸は、波長をnm単位で目盛り、及び縦軸は、反射率をdBで目盛って示してある。P₄、P₅及びP₆で示すピークは、それぞれ、第1グレーティング部530、第2グレーティング部532及び第3グレーティング部534からのブラッグ反射に対応する。この図22に示す反射スペクトルの中で、 0π と示した曲線が、位相調整部538に、紫外光照射を行なう直前に観測される反射スペクトルである。図22中で、 0π 、 0.1π 、 0.11π 、 0.12π 、 0.14π と示したパラメータは、位相調整部538に紫外光を照射することによって位相調整部538の部分の屈折率が増大するために変化する光学長を位相量に換算して示した値である。ここの値をパラメータにとって、紫外光の照射を続けた場合の、反射スペクトルの変化する様子を重ねて示した。

【0168】

メインローブP₄、P₅及びP₆の両側には、第1の実施の形態の光ファイバグレーティングとは異なり、サイドローブが存在しない。また、ボトムb₄₅及びボトムb₅₆の変化の様子が、第1の実施の形態において重要であったのと同様に重要である。そこで、図23に、反射スペクトルのボトムb₄₅及びb₅₆の部分を拡大して示す。図23にボトムb₄₅部分の拡大図aおよびボトムb₅₆部分の拡大図bをそれぞれ示す。

【0169】

図23の横軸は、波長をnm単位で目盛り、及び縦軸は、反射率をdBで目盛りしてある。図23中で、各反射スペクトル曲線を区別しやすいように、各反射スペクトル曲線の上に○あるいは△等で印をつけてある。

【0170】

位相調整部538の光学長が、紫外光の照射によって、位相調整部538の部分の屈折率が增大するために 0π 、 0.1π 、 0.11π と増大する(伸びる)につれて、ボトムb56の光強度は減少し、ここから更に 0.12π 、 0.14π と、増大するにつれて、ボトムb56の光強度は増大する。一方、ボトムb45の強度は、 0π 、 0.1π 、 0.11π 、 0.12π 、 0.14π と、増大するにつれて、減少している。したがって、位相調整部538の部分の光学長が、 0.11π になった時点で、紫外光の照射を終了すれば、所望の反射スペクトルが得られる光ファイバグレーティングが形成できる。

【0171】

ボトムb45の光強度は、 0π 、 0.1π 、 0.11π 、 0.12π 、 0.14π と、増大するにつれて、減少しており、こちらのボトムの光強度のみに注目すれば、 0.11π になった時点で、紫外光の照射を終了するより、更に光学長が伸びた時点で紫外光の照射を終了するほうが望ましい。しかし、ボトムb56の光強度がボトムb45の光強度に比べて強いので、ボトムb56の光強度が最小となる位相調整部538の部分の光学長の変化が 0.11π になった時点で、紫外光の照射を終了するのが、望ましい。

【0172】

上述したように、図9を参照して説明した位相調整工程(工程D')を終了する時点とは、位相調整部538の光学長が、位相差にして 0.11π 変化した段階である。この終了する時点は、図9(D)を参照して説明したように、反射光測定装置によって反射スペクトルを観測しつつ、紫外光を照射することによって確定することができる。

【0173】

【発明の効果】

上述した説明からも明らかなように、位相調整工程において、光ファイバグレーティングからの反射スペクトルのボトムにおける光強度を観測しながら、位相調整部のみに紫外光を時間的に連続して照射すれば、このボトムにおける光強度

が最小になる時点を判定できる。ボトムにおける光強度が最小になった時点で、紫外光の照射を終了すれば、反射スペクトルにおけるボトム波長の光強度が十分に小さい特性を有する光ファイブグレーティングを製造できる。

【0174】

また、反射スペクトルのメインローブの両側に現れるサイドローブを抑圧するために、光ファイバグレーティングのグレーティング部の屈折率変調度を、アポダイズされたグレーティング部を有する光ファイバグレーティングに対しても、この発明の位相調整工程を実施することで、反射スペクトルにおける、ボトム波長の光強度が十分に小さい特性を有する光ファイブグレーティングを製造できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

光ファイバグレーティングの構造の説明に供する図である。

【図2】

光ファイバグレーティングの形成方法の説明に供する図である。

【図3】

多波長光源ユニットの動作原理の説明に供する図である。

【図4】

(A) は多波長光源ユニットの光源のスペクトルを表す図であり、(B) は多波長光源ユニットからの出力光のスペクトルを表す図である。

【図5】

多波長光源ユニットからの出力光のスペクトルの説明に供する図である。

【図6】

時間拡散波長ホップ方式のOCDMシステムについての説明に供する図である。

【図7】

光搬送波の時間軸上での関係の説明に供する図である。

【図8】

光ファイバグレーティングによるフィルタリングの説明に供する図である。

【図9】

光ファイバグレーティングの製造工程の説明に供する図である。

【図 10】

第1の実施の形態における光ファイバグレーティングの屈折率分布構造を表す図である。

【図 11】

工程Bにおいて観測される反射スペクトルを表す図である。

【図 12】

工程Bにおいて観測される反射スペクトルの b_{12} 部分の拡大図である。

【図 13】

工程Dにおいて観測される反射スペクトルを表す図である。

【図 14】

工程Dにおいて観測される反射スペクトルの拡大図であり、aは b_{12} 部分の拡大図、bは b_{23} 部分の拡大図である。

【図 15】

ブラッググレーティングのアポダイズの原理の説明に供する図である。

【図 16】

光ファイバグレーティングの反射スペクトルを表す図である。

【図 17】

透過率分布マスクの透過率特性を表す図である。

【図 18】

アポダイズされた光ファイバグレーティングの製造工程の説明に供する図である。

【図 19】

第2の実施の形態における光ファイバグレーティングの屈折率分布構造を表す図である。

【図 20】

工程B'において観測される反射スペクトルを表す図である。

【図 21】

工程B'において観測される反射スペクトルの b_{45} 部分の拡大図である。

【図 22】

工程 D' において観測される反射スペクトルを表す図である。

【図 2 3】

工程 D' において観測される反射スペクトルの拡大図で、a は b₄₅ 部分の拡大図、b は b₅₆ 部分の拡大図である。

【符号の説明】

- 10、22、210、232、248、264、310、332：コア
- 11、24、212、234、250、266、312、334：クラッド
- 12、34：光ファイバグレーティング
- 14、226、326：第1グレーティング部
- 16、228、328：第2グレーティング部
- 18：位相調整部
- 20、90：光ファイバ
- 26、214、216、252、314、316、340：位相格子
- 30：広帯域スペクトル光源
- 32、245、278：光サーキュレータ
- 40a、40b、40c、60a、60b、60c、80a、80b、80c：グレーティング部
- 42a、42b、62a、62b、82a、82b：間隙
- 44、64、84：入射端
- 46、66、86：終端
- 48：多波長光源ユニット
- 50：送信機
- 52：光源
- 54：光変調器
- 58：第1の光サーキュレータ
- 60：第1の光ファイバグレーティング
- 70：受信機
- 72：第2の光サーキュレータ
- 76：フォトディテクタ
- 78：閾値素子

80：第2の光ファイバグレーティング

218、220、222、236、238、254、256、268、270、318、320、322、336、338：遮
光マスク

230、330：第 1 位相調整部

246、279：光強度測定装置

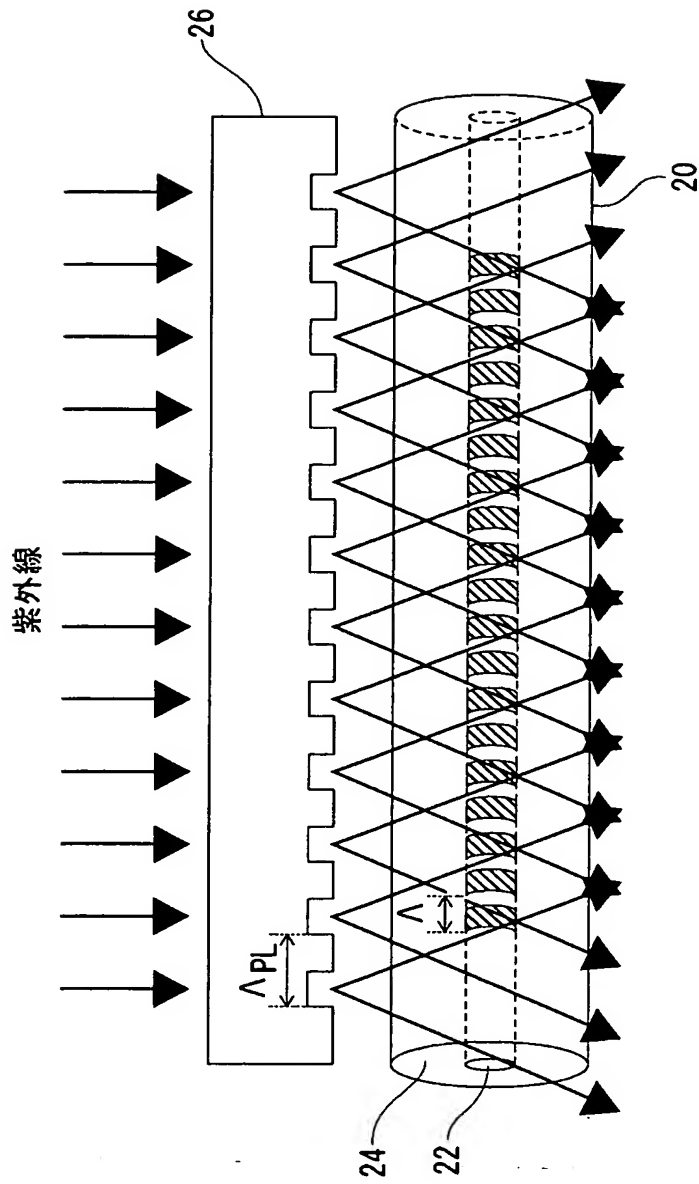
247、280：反射光測定装置

260、346：第 2 位相調整部

262、348：第 3 グレーティング部

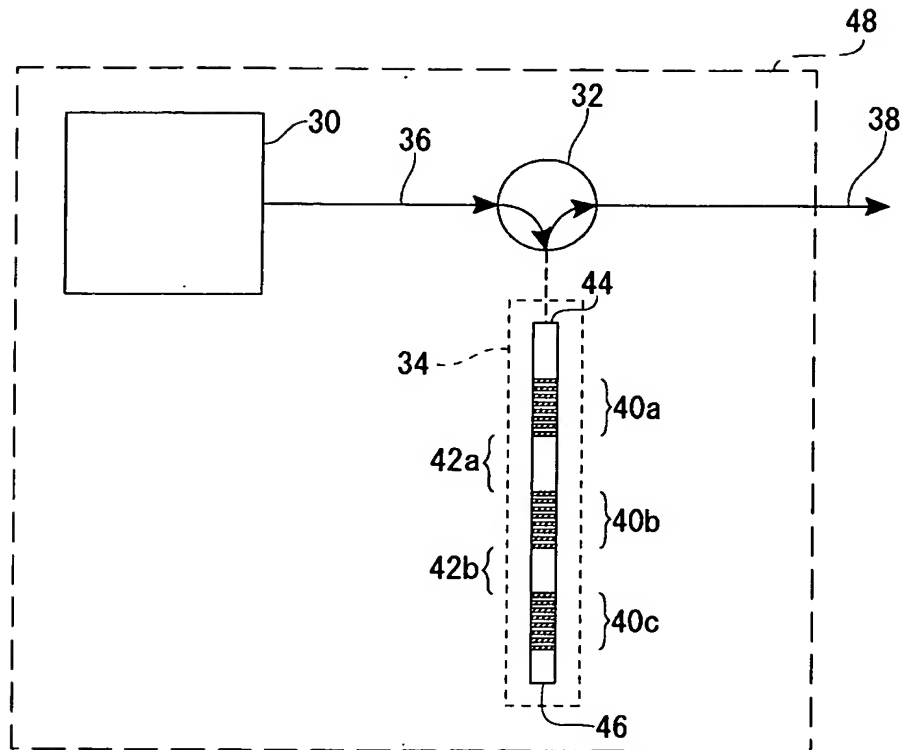
350、352、354：透過率分布マスク

【図 2】



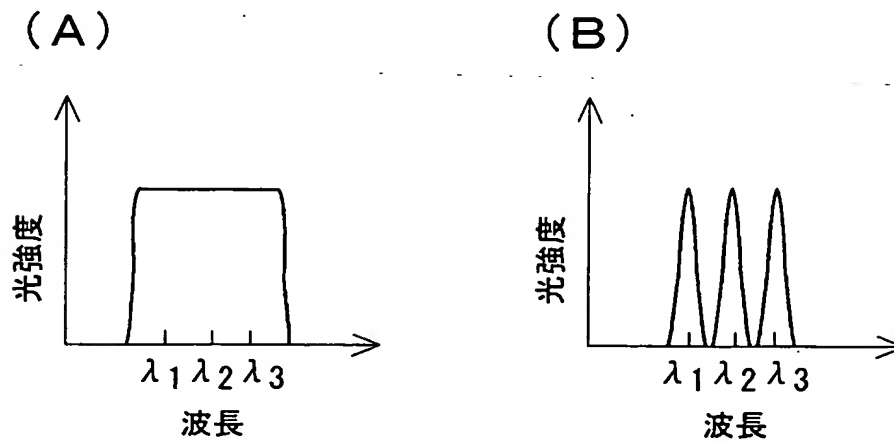
光ファイバグレーティングの形成方法

【図 3】



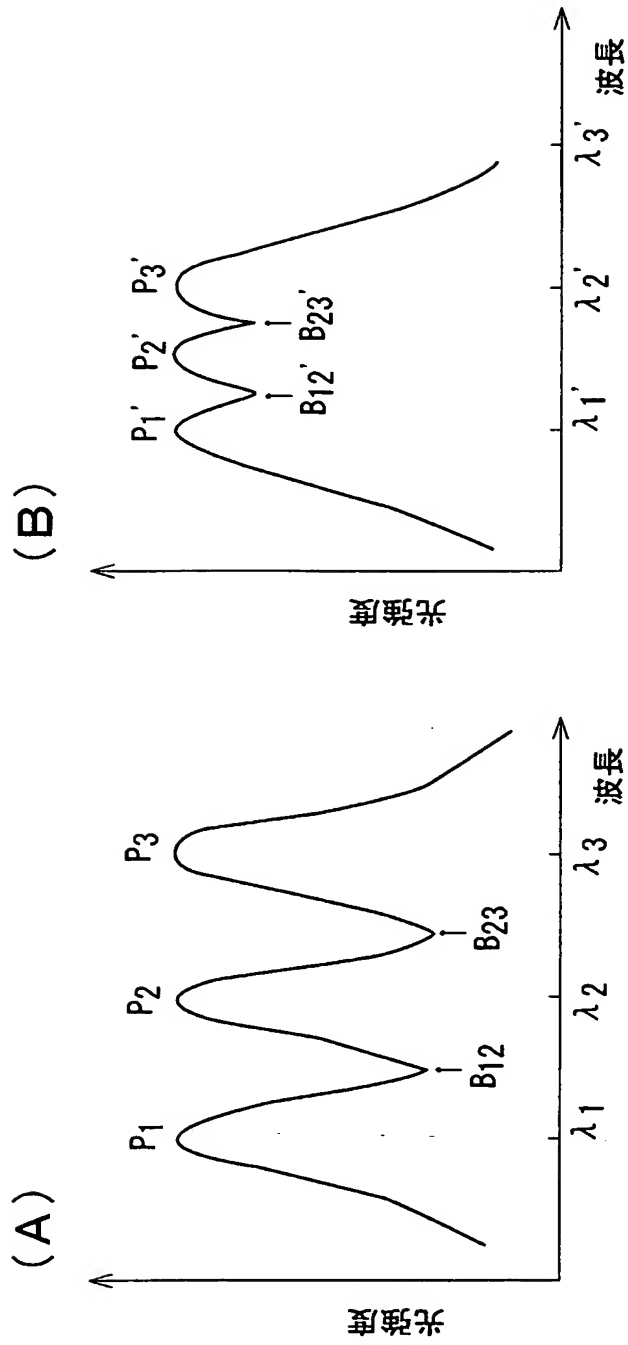
多波長光源ユニットの動作原理

【図 4】



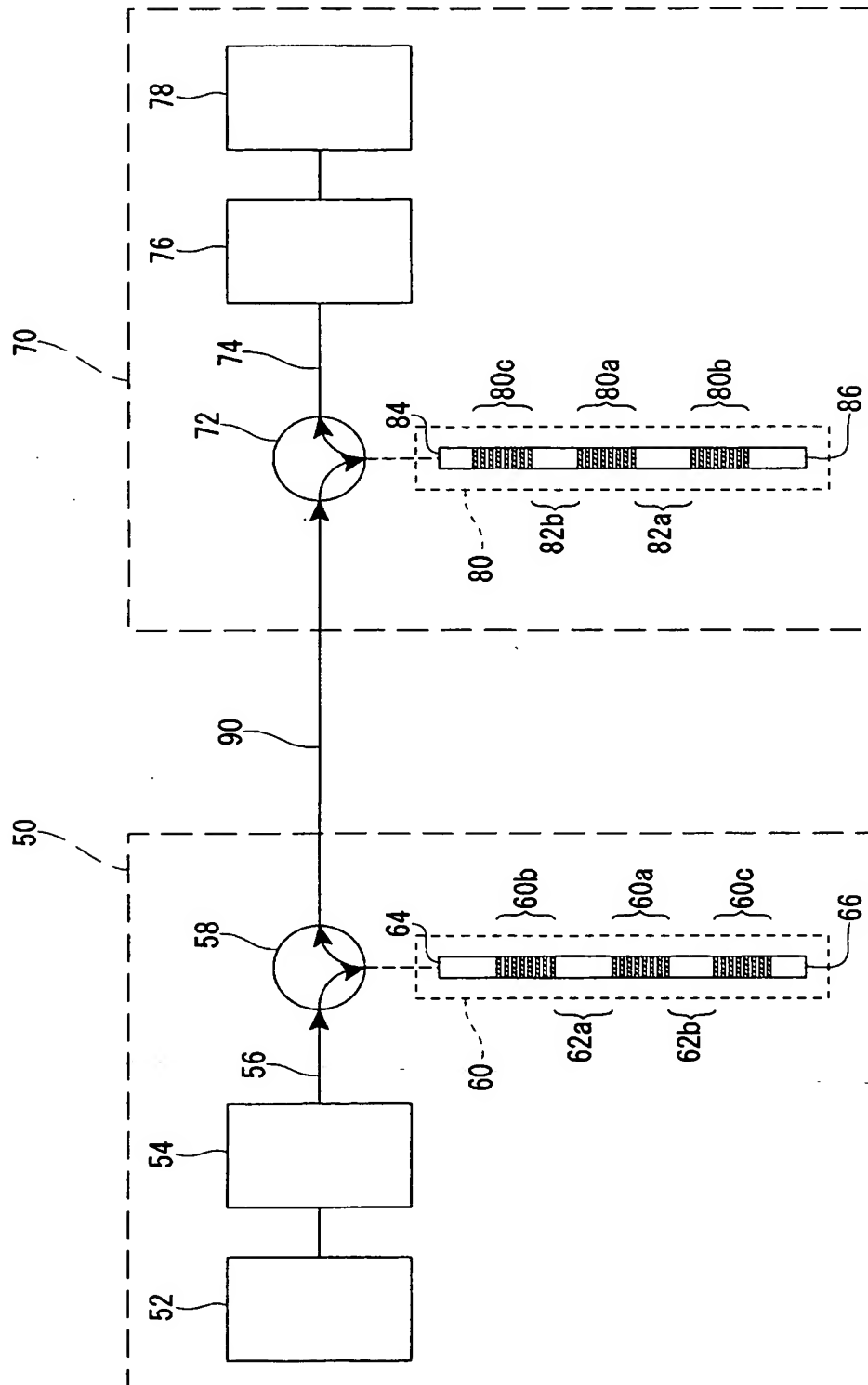
多波長光源ユニットの光源のスペクトル及び出力光のスペクトル

【図 5】



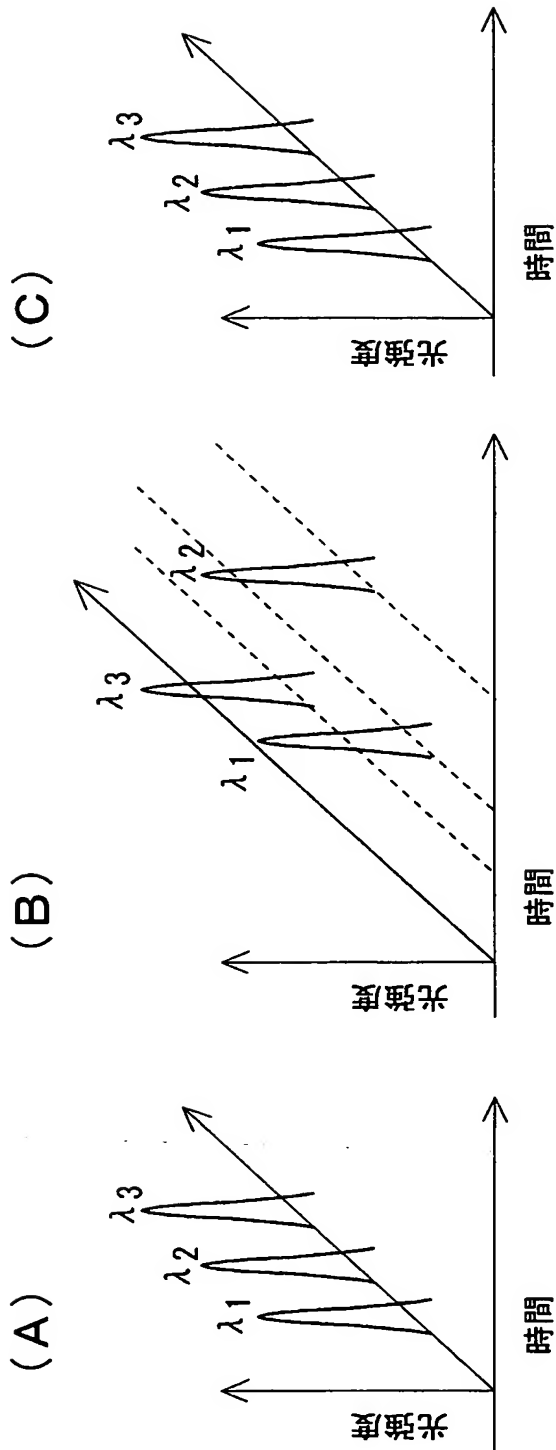
多波長光源ユニットからの出力光のスペクトル

【図 6】



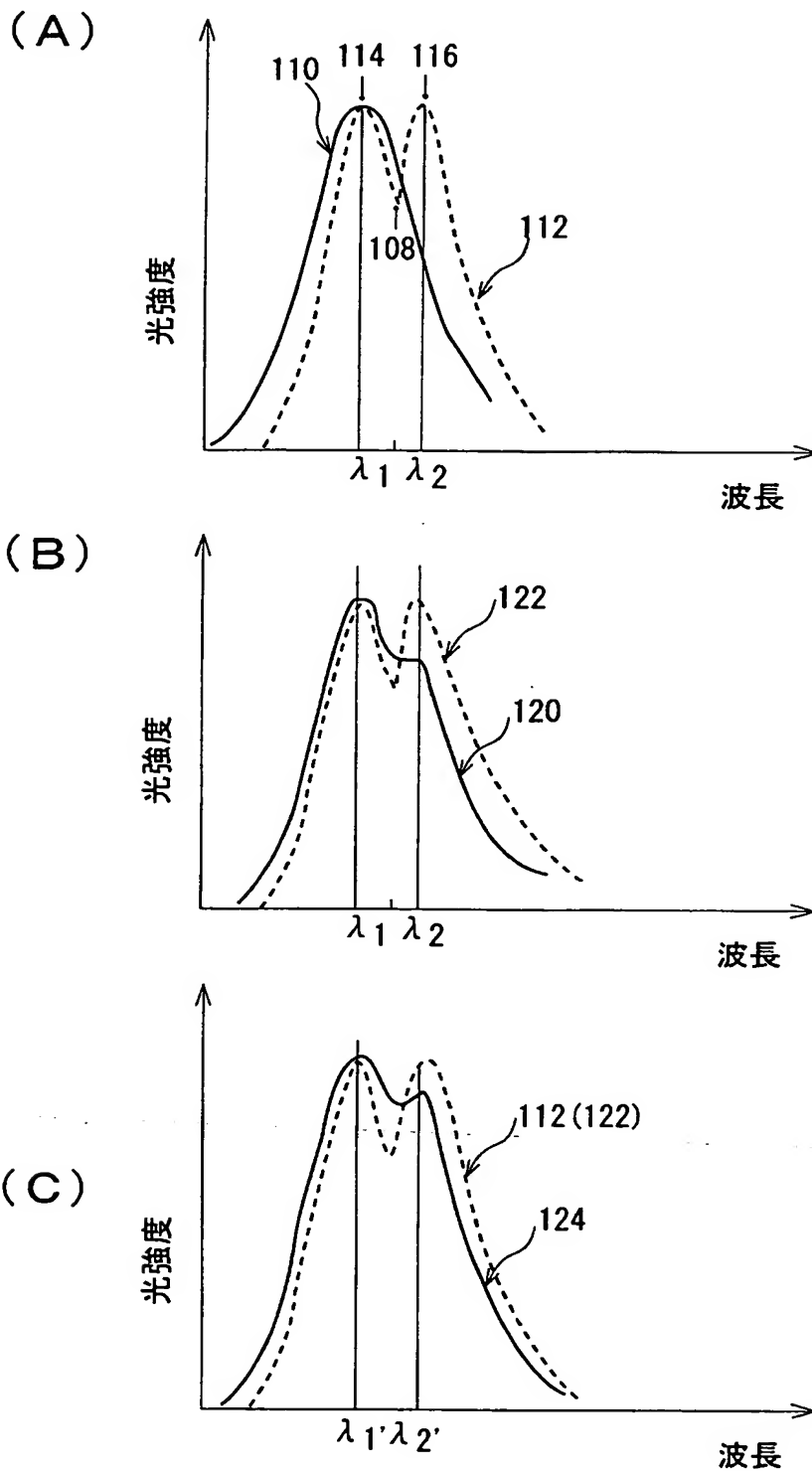
時間拡散波長ホップ方式のOCDMシステム

【図 7】



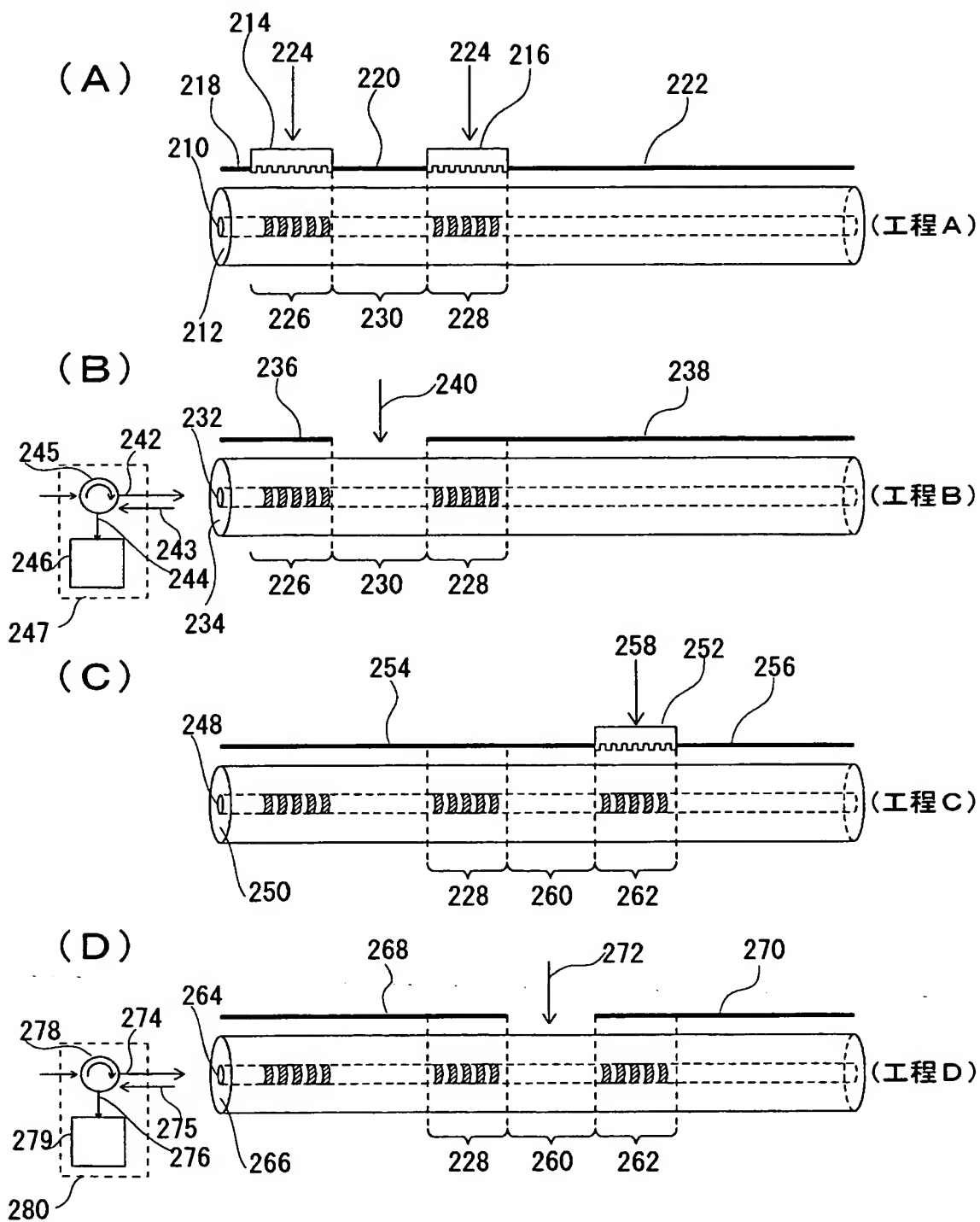
光搬送波の時間軸上での関係

【図 8】



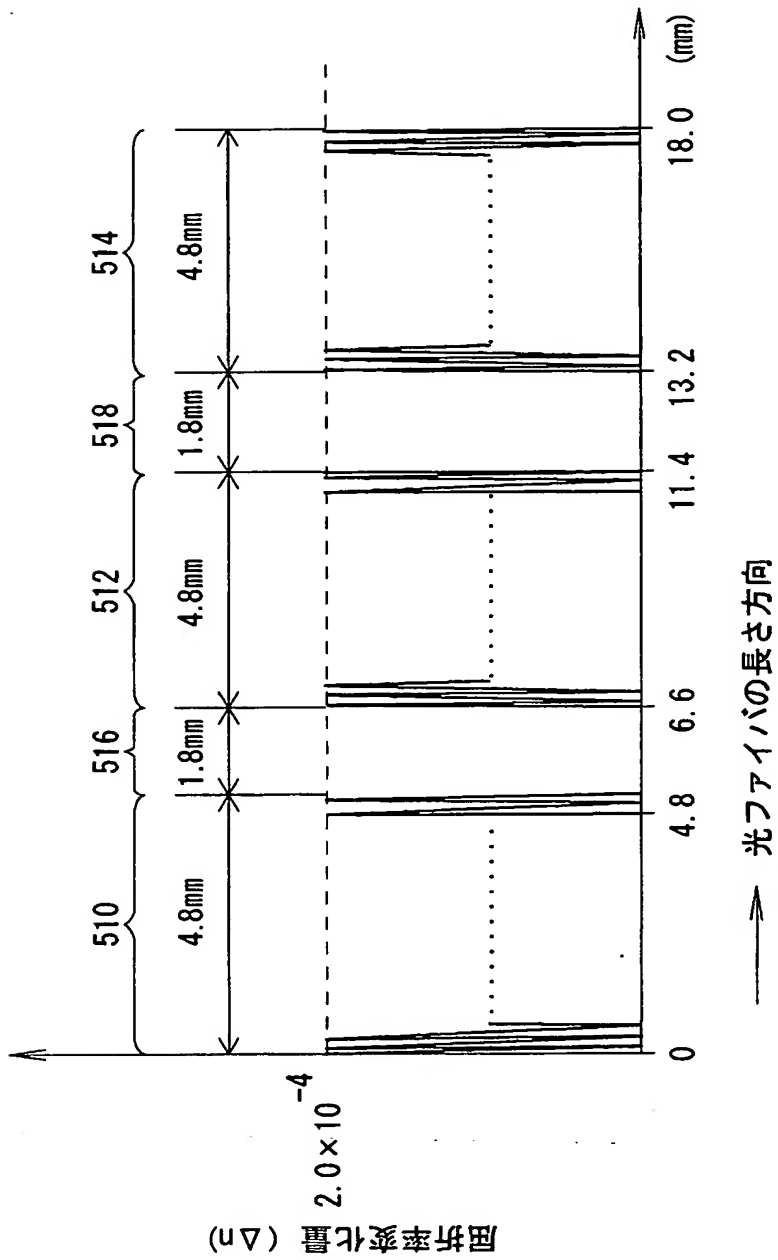
光ファイバグレーティングによるフィルタリングの説明

【図 9】



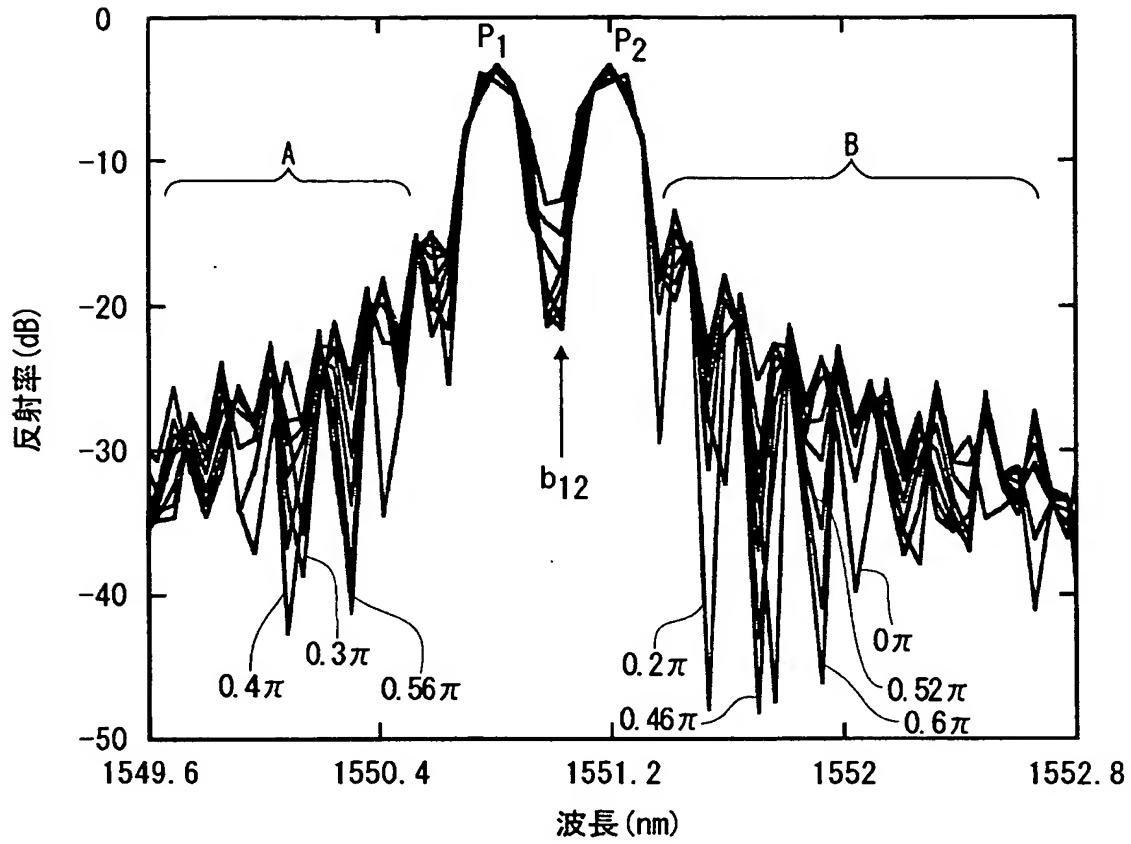
光ファイバグレーティングの製造工程

【図10】



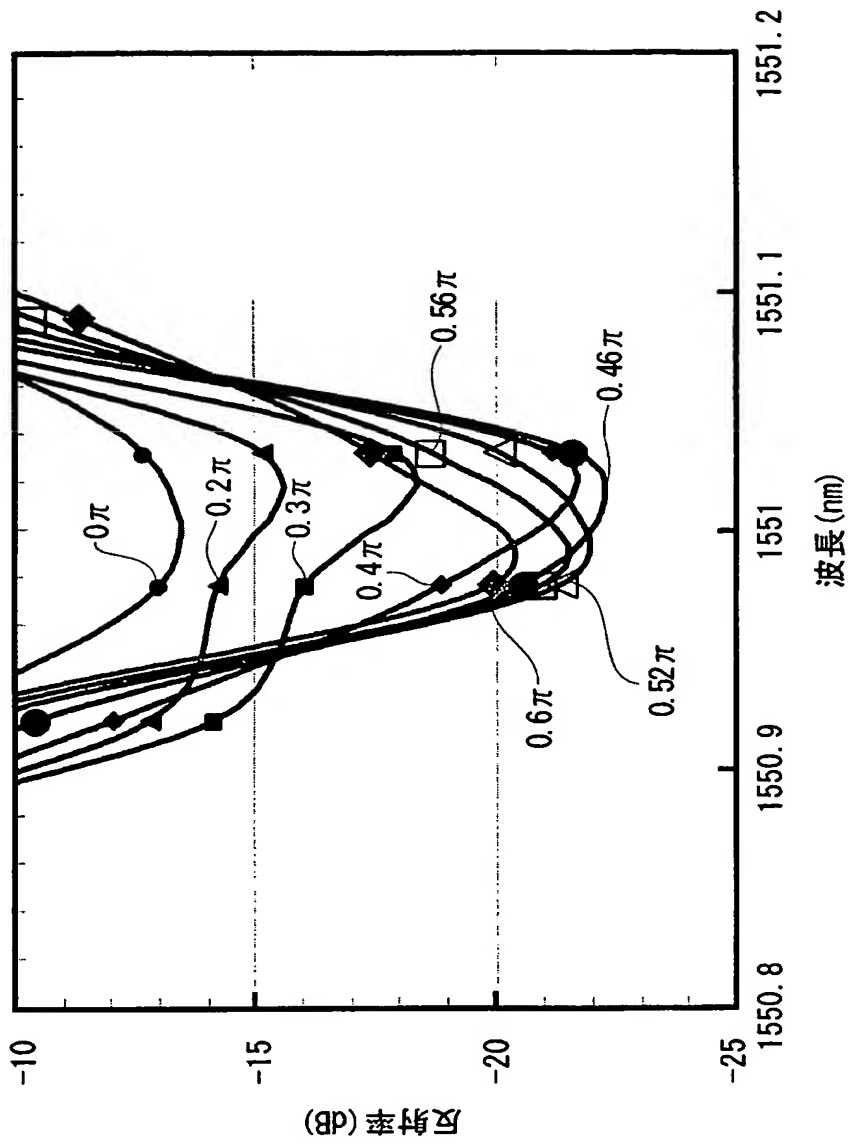
第1の実施の形態における光ファイバグレーティングの屈折率分布構造

【図 11】



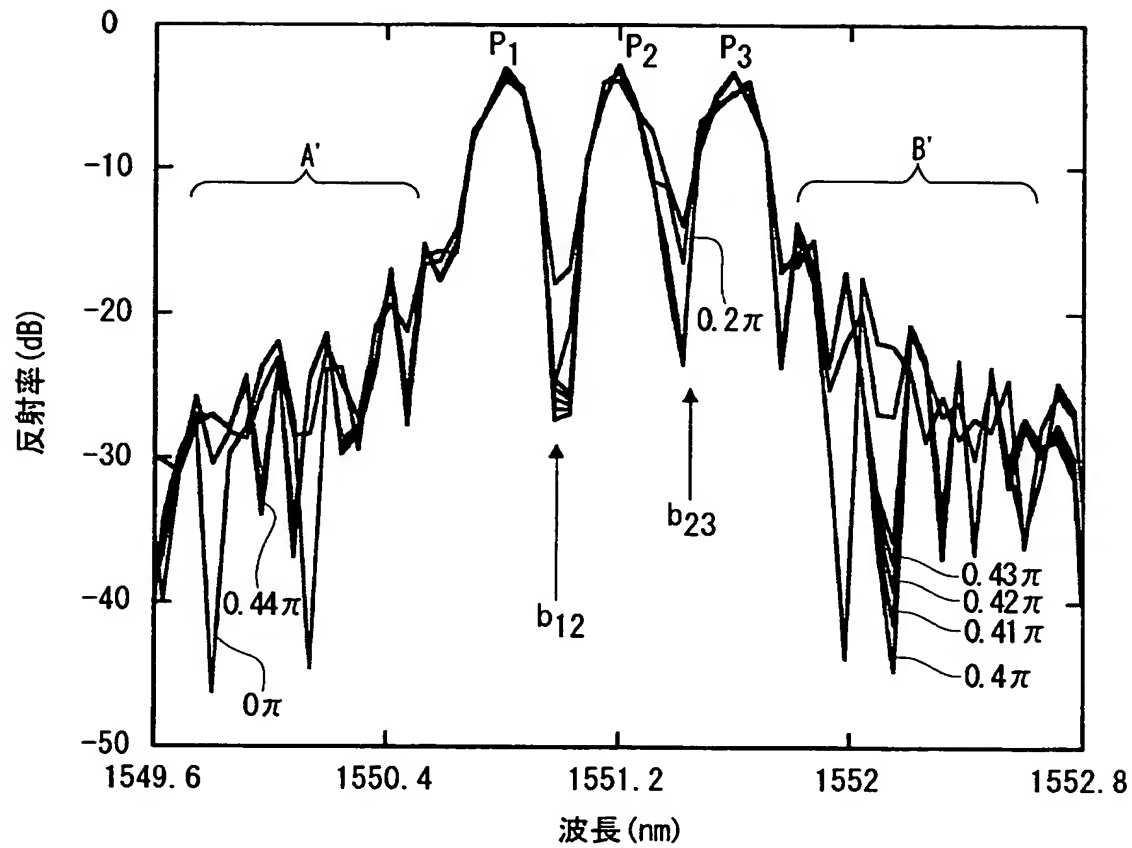
工程 B において観測される反射スペクトル

【図 12】



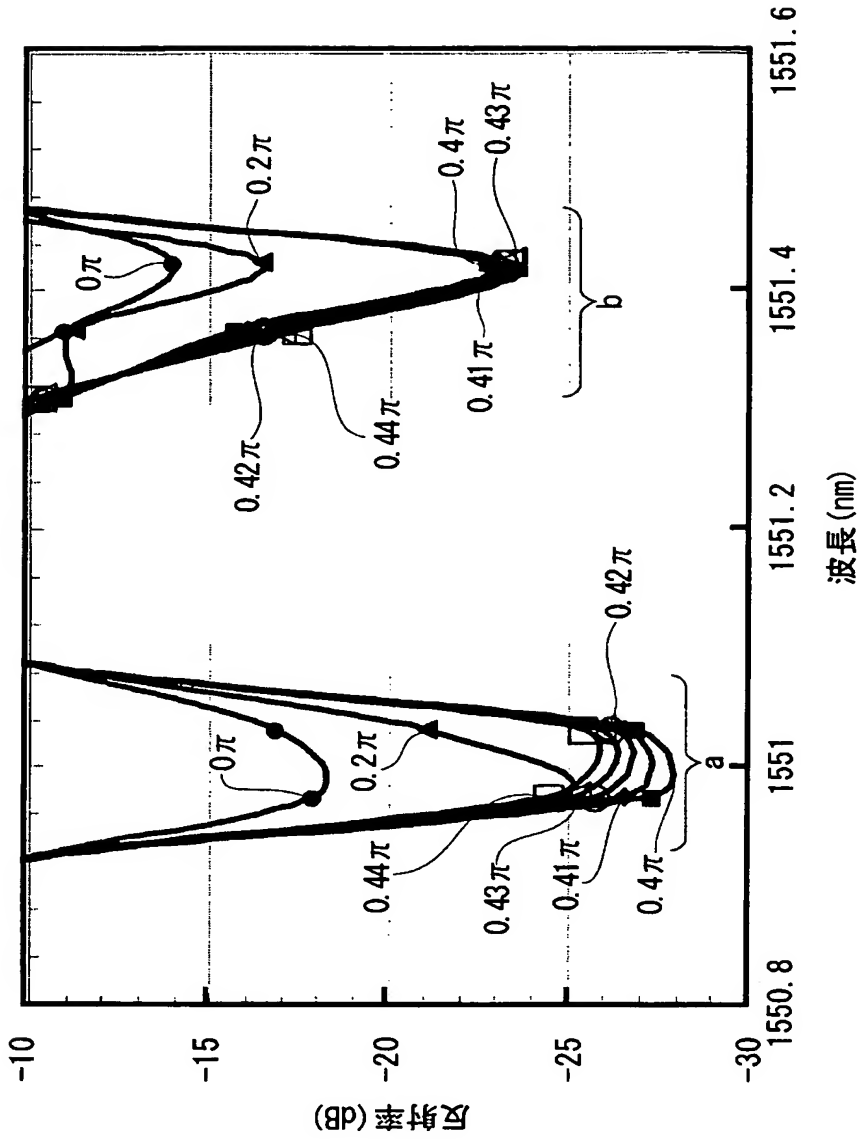
工程 B において観測される反射スペクトルのボトム b_{12} 部分の拡大図

【図 13】



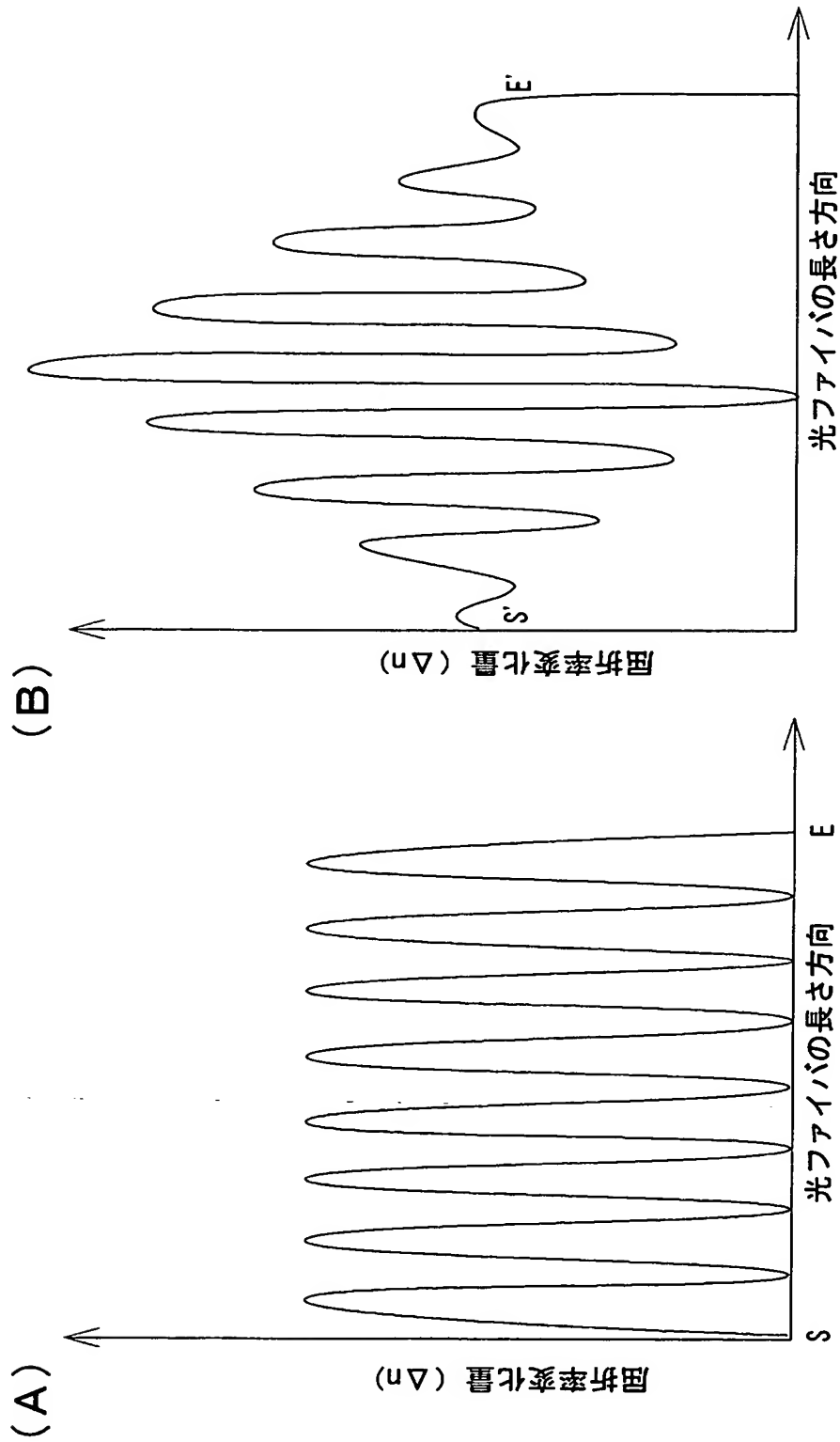
工程Dにおいて観測される反射スペクトル

【図 14】



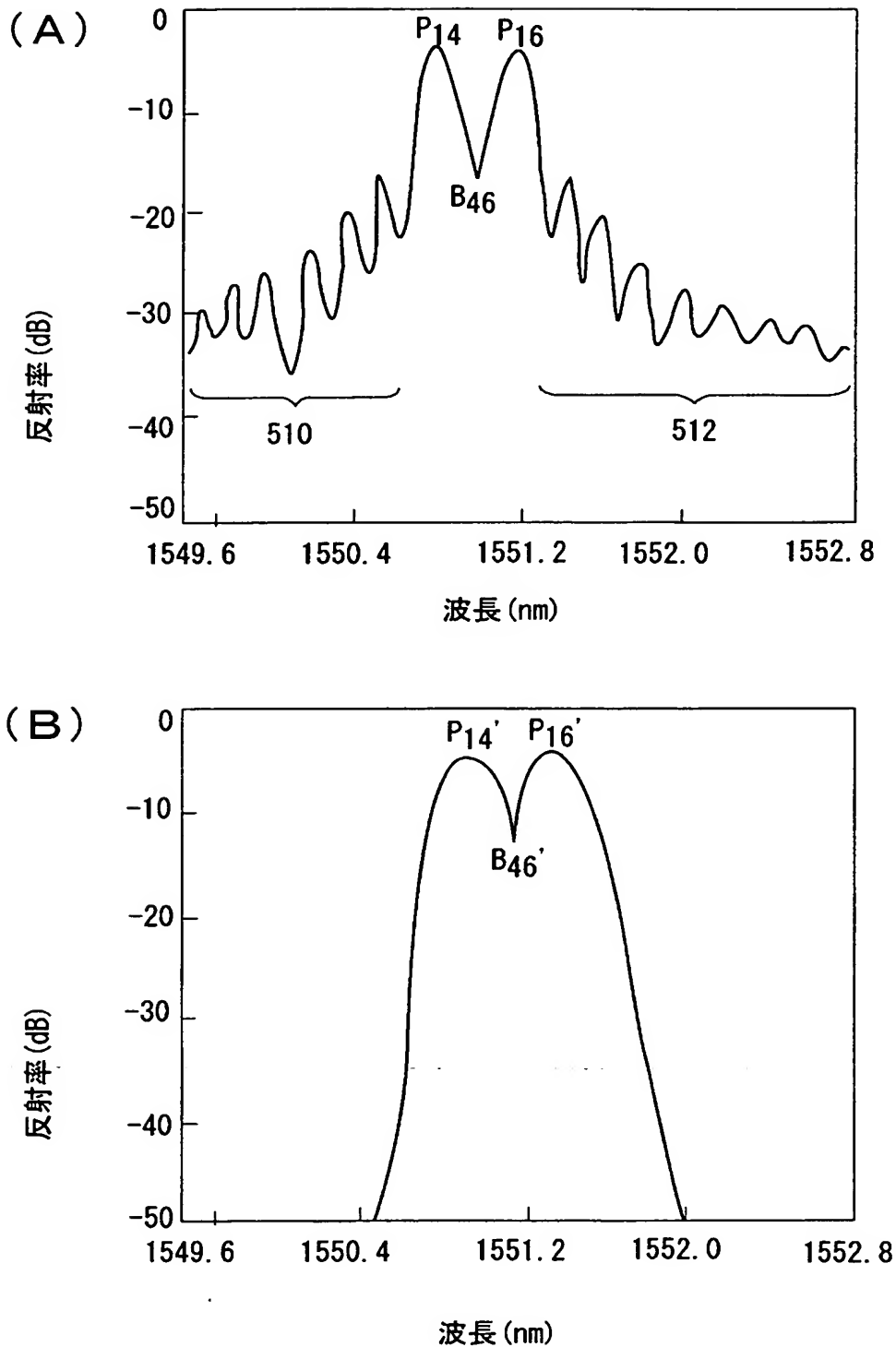
工程Dにおいて観測される反射スペクトルの拡大図

【図 15】



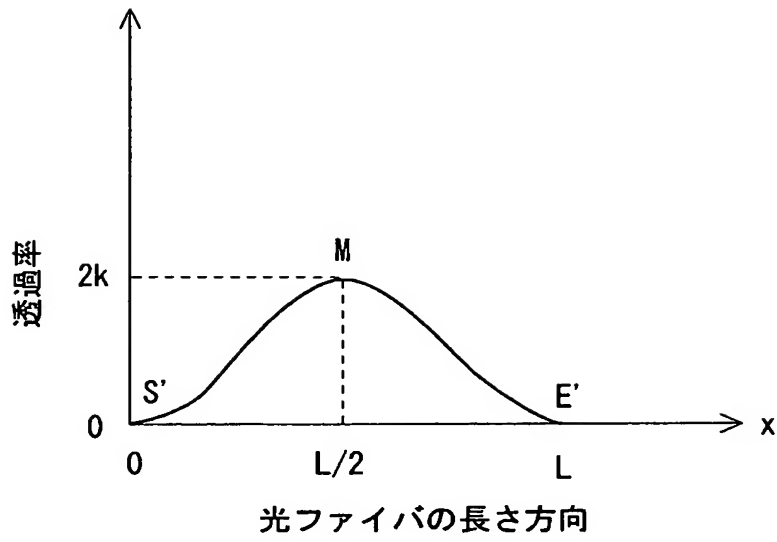
ブラッググレーティングのアポダイズの原理

【図 16】



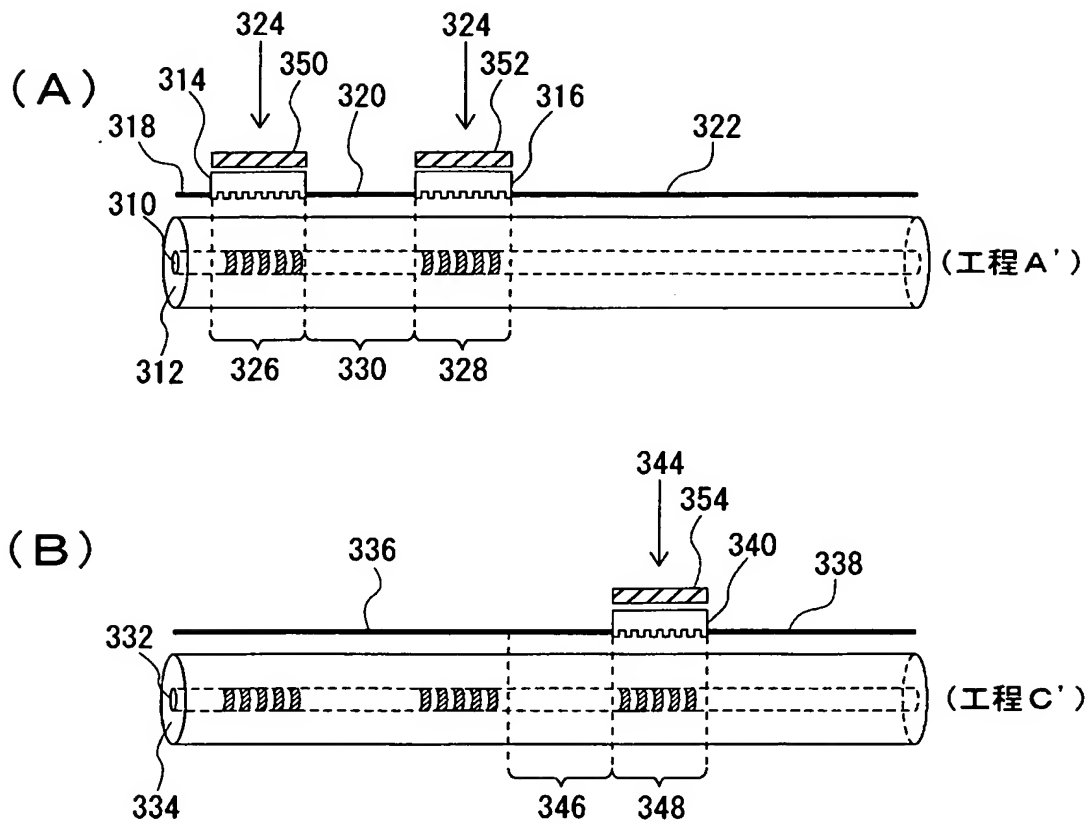
光ファイバグレーティングの反射スペクトル

【図 17】



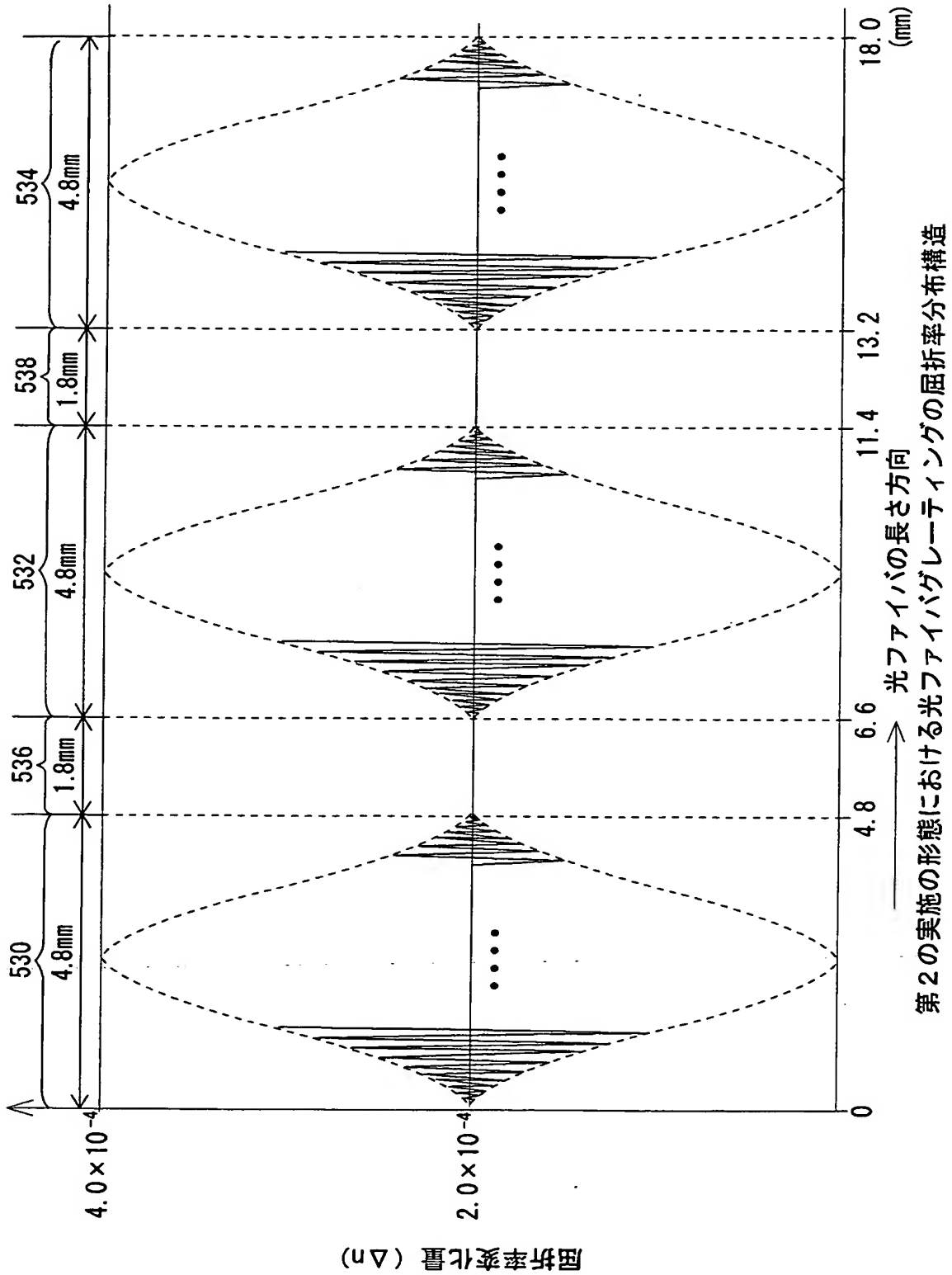
浸透率分布マスクの透過率特性

【図 18】

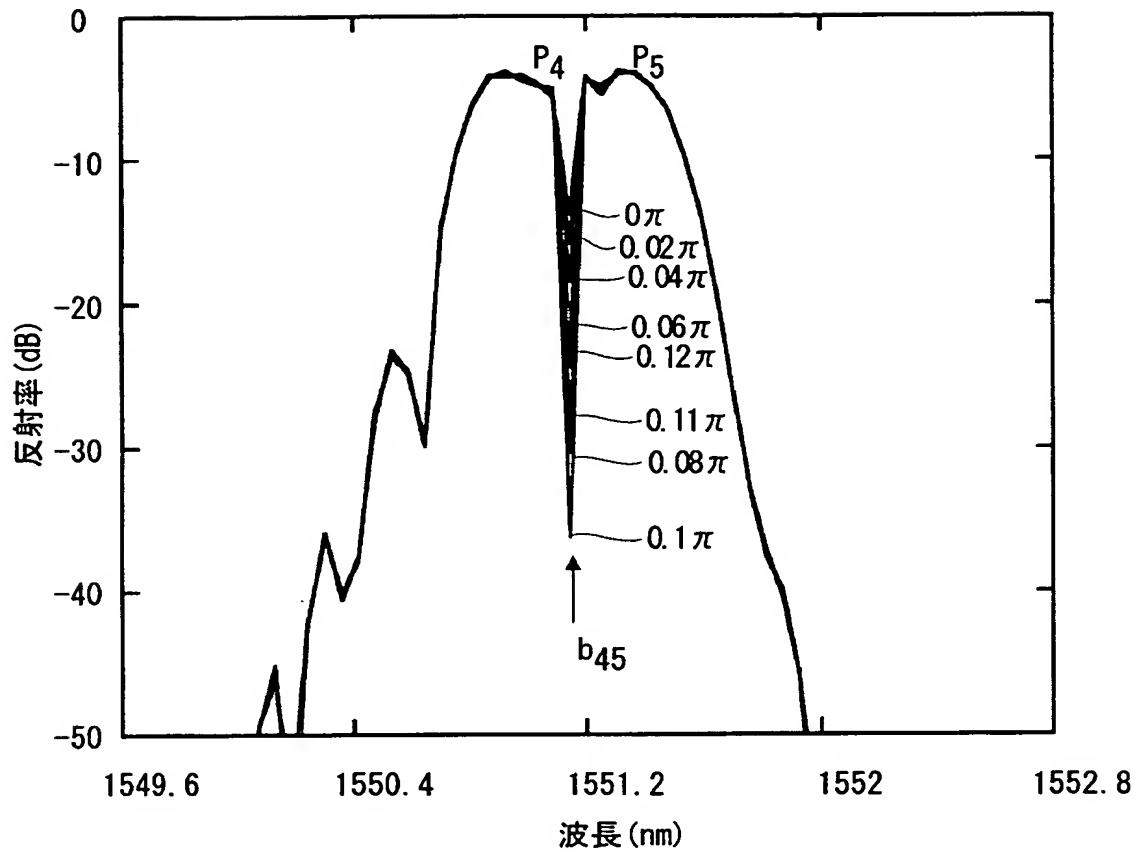


アポダイズされた光ファイバグレーティングの製造工程

【図 19】

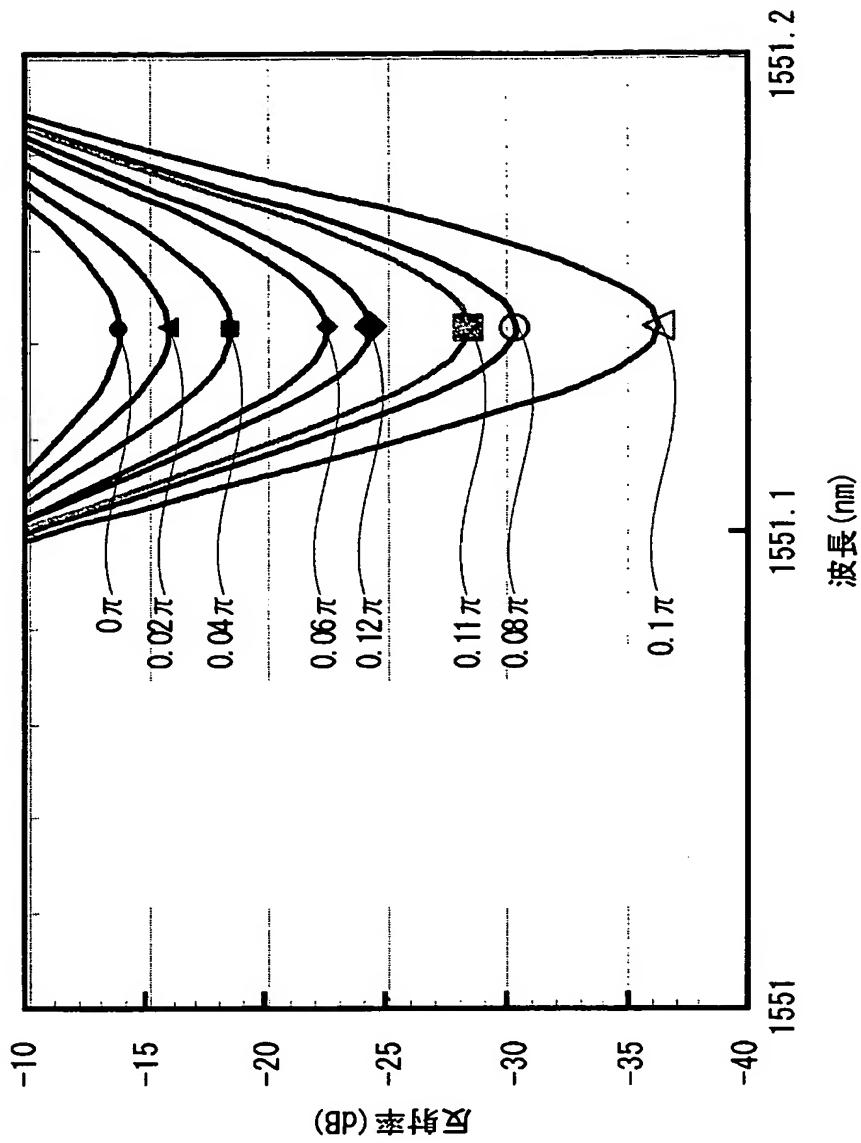


【図 20】



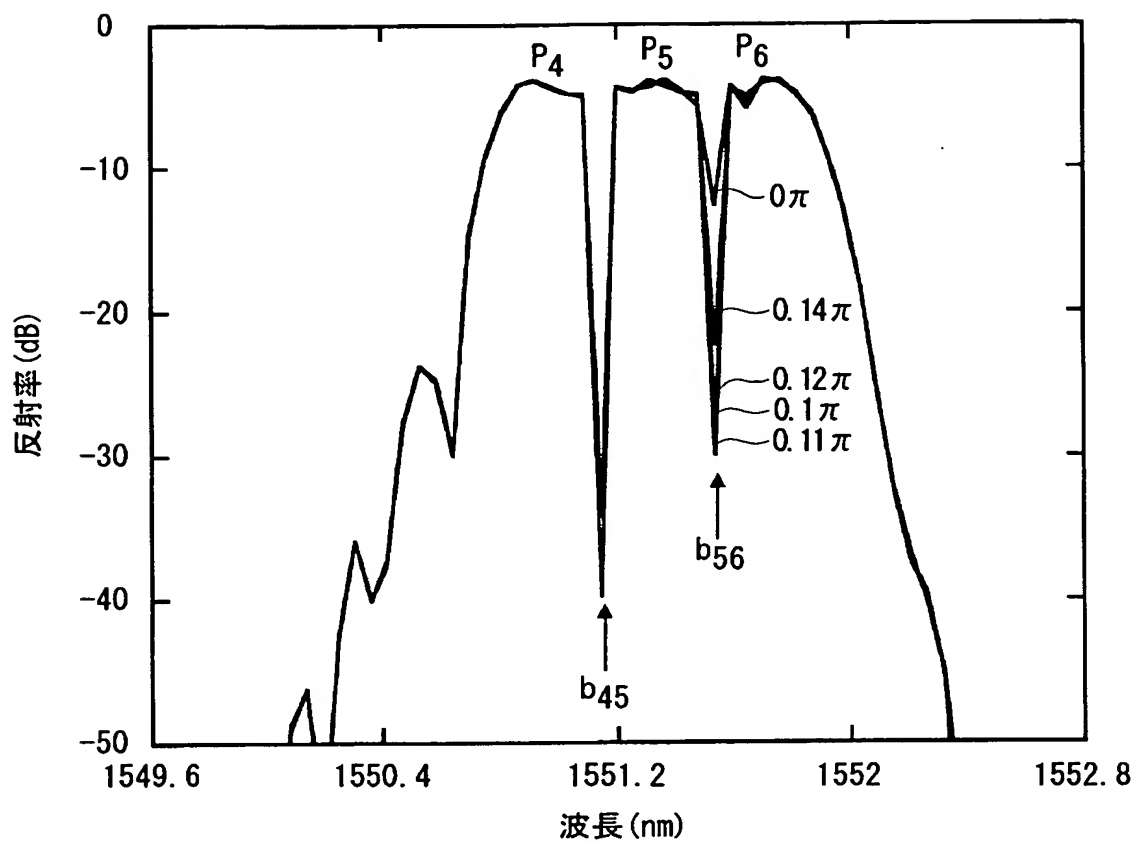
工程 B' において観測される反射スペクトル

【図 21】



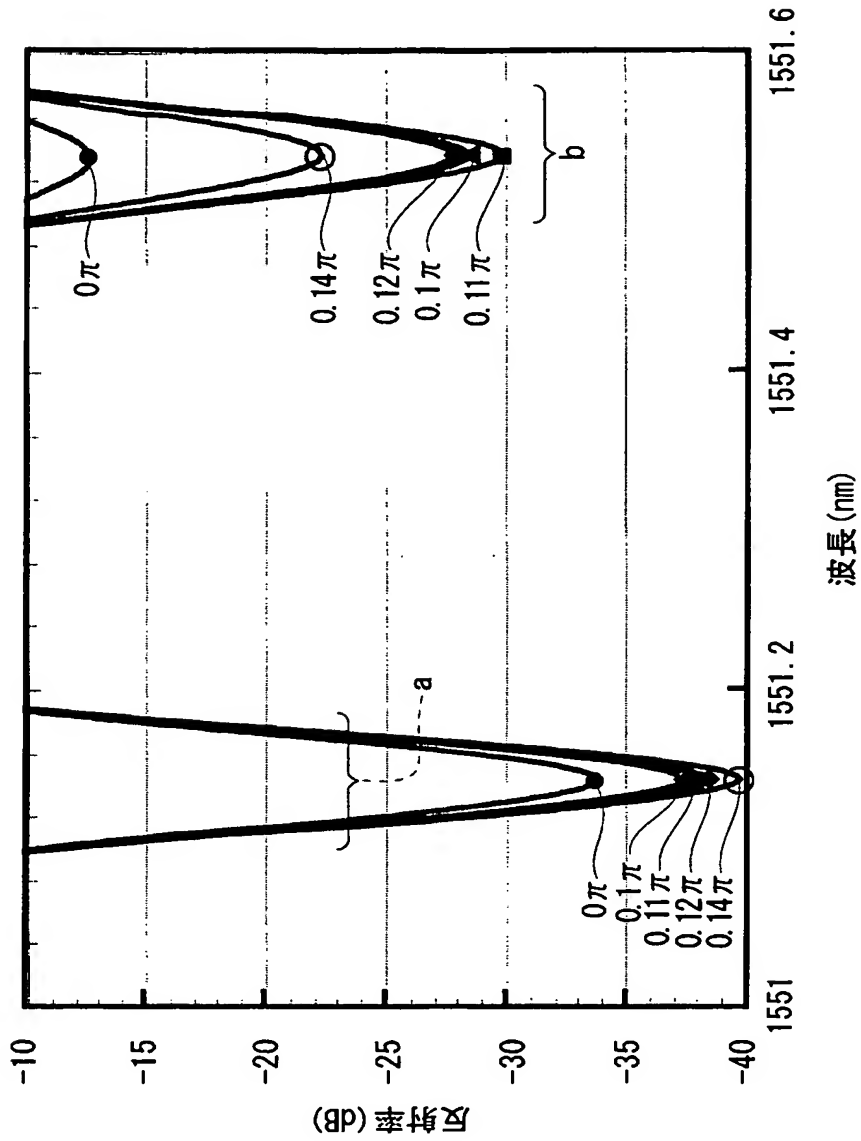
工程 B' において観測される反射スペクトルのボトム b_{45} 部分の拡大図

【図 22】



工程D'において観測される反射スペクトル

【図 23】



工程 D' において観測される反射スペクトルの拡大図

【書類名】 要約書

【要約】

【目的】 反射あるいは透過スペクトルにおけるボトム波長の光強度を、十分に小さくすることができる光ファイバグレーティングの製造方法を提供する。

【解決手段】 光誘起屈折率変化現象が誘起される素材によって構成された光ファイバに、この光ファイバの長さ方向に直列させて、ブラッグ波長の異なる複数のグレーティング部を、位相調整部を挟んで形成するグレーティング形成工程（工程A及び工程C）と、このグレーティング工程を経た、光ファイバグレーティングの透過率又は反射率スペクトルをモニタしながら、位相調整部のみに紫外光を照射して、この光ファイバグレーティングの反射あるいは透過スペクトルにおけるボトム波長の光強度を調整する位相調整工程（工程B及び工程D）とを具えている。

【選択図】 図9

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-031456
受付番号	50300203654
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成15年 2月10日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成15年 2月 7日

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 3 1 4 5 6

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 0 2 9 5]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

氏 名

沖電気工業株式会社